

**ISSN 0355-1180**

**HELSINGIN YLIOPISTO**

**Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos  
Elintarviketeknologian osasto**

**EKT-sarja 1627**

**JOGURTIN LAADUN HALLINTA**

**Pirjo Helminen**

**Helsinki 2014**

Tiedekunta/Osasto □ Fakultet/Sektion – Faculty Maatalous-metsätieteellinen		Laitos □ Institution – Department Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos	
Tekijä□□□Författare – Author Pirjo Helminen			
Työn nimi□□ Arbetets titel – Title Jogurtin laadun hallinta			
Oppiaine □ Läroämne – Subject Elintarviketeknologia			
Työn laji□□ Arbetets art – Level Maisterin tutkielma	Aika□□ Datum – Month and year Helmikuu 2014	Sivumäärä□□ Sidoantal – Number of pages 83+5 (liitteet)	
<p>Tiivistelmä□□ Referat – Abstract</p> <p>Tämän tutkielman kirjallisuudessa käsitellään lehmänmaidon koostumusta, jogurtin valmistusta, jogurtin rakenneominaisuuksiin vaikuttavia koostumus- ja valmistusprosessitekijöitä, sekä jogurtin rakenteen mittaamista. Tämän tutkimuksen maustamattomien jogurttien valmistukseen käytettiin Valio Oy:n Riihimäen ja Oulun meijereitä. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää jogurtin laatuun vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuksen aluksi jogurtin perustekijästä eli jogurttimaidosta määritettiin koostumus, minkä jälkeen valmiista jogurtista määritettiin rakenneominaisuudet (viskositeetti, hiutaleisuus ja heran erottuminen) erilaisia tekniikoita käyttäen. Aineistosta tutkittiin jogurtin rakenneominaisuuksien ja valmistusprosessin välisiä riippuvuussuhteita laskemalla korrelaatiokertoimet sekä tilastollinen merkitsevyys. Lisäksi tutkimuksen tavoitteena oli määrittää jogurtin valmistusta ohjaavat rakenneominaisuuksien spesifikaatorajat. Pearsonin korrelaatiokertoimien, tilastollisten merkitsevyysien ja spesifikaatorajojen määrittämiseen käytettiin MINITAB®16 tilasto-ohjelmaa.</p> <p>Hyvälaatuisessa jogurtissa rakenne on viskoosi, hiutaleita ei ole, eikä heran erottumista tapahdu. Tämän tutkimuksen tulosten mukaan valmistuspaikka vaikutti merkitsevästi jogurtin rakenneominaisuuksiin. Tutkimustulosten mukaan jogurtin viskositeetissa oli yli 50%:n vaihtelu, hiutaleiden määrässä noin 25% ja heran erottumisessa eli synereesissä noin 30%. Tulosten mukaan jogurtin viskositeettia saattoi heikentää mm. jogurttimassan pitkä seisonta-aika ennen pakkaamista. Jogurtin hiutalemäärä lisääntyi kun valmistusprosessin haihdutuslämpötila ja jogurttimaidon haihdutusvirtausnopeus (l/h) nousivat. Jogurtista erottuvan heran määrän havaittiin vähenevän kun jogurtin perustekijän eli jogurttimaidon rasva- ja kuiva-ainepitoisuuksia nostettiin. Erottuneen heran määrää vähensi myös jogurtin valmistusprosessin haihdutuksen korkea syöttövirtausnopeus (l/h).</p> <p>Tutkimuksesta saatuja tuloksia voidaan käyttää jogurtin valmistusprosessien kehittämiseen.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords prosessi, korrelaatio, jogurtti, viskositeetti, hiutale, hera, rakenne, proteiini, rasva			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Viikin tiedekirjasto			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

Tiedekunta/Osasto □ Fakultet/Sektion – Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos □ Institution – Department Department of food and Environmental Sciences	
Tekijä □ □ □ Författare – Author Pirjo Helminen			
Työn nimi □ □ Arbetets titel – Title Yogurt quality management			
Oppiaine □ Läroämne – Subject Food Technology			
Työn laji □ □ Arbetets art – Level M. Sc. Thesis	Aika □ □ Datum – Month and year February 2014	Sivumäärä □ □ Sidoantal – Number of pages 83+5 (appendixes)	
<p>Tiivistelmä □ □ Referat – Abstract</p> <p>Thesis literature review deals with composition of cow's milk, yogurt manufacturing, composition and process attributes affecting textural properties of yogurt and measuring textural properties of yogurt. Plain, stirred yogurts (kg) were manufactured at Valio Riihimäki and Oulu Dairies. The aim of the research was to find out attributes that affect yogurt quality. At first milk base composition was determined, after that yogurt textural properties were determined (viscosity, graininess, syneresis) by using different techniques. Finally yogurt statistical relationships or Pearson correlations and statistical significance between yogurt textural properties and milk base composition and manufacturing process were determined. The objective was also to determine common specification limits to yogurt textural properties. Statistical analysis; pearson correlation coefficients, p-value and specification limits were carried out using MINITAB® 16 statistical software.</p> <p>Good yogurt texture is viscous, free from grains and syneresis. This study showed that yogurt textural properties (viscosity, graininess and syneresis) were affected significantly by yogurt manufacturing plant. There were a lot of fluctuations in yogurt textural properties. Consequently yogurt viscosity fluctuated over 50%, graininess approx. 25% and syneresis approx. 30%. According to this study, yogurts standing a long time before packaging, were less viscous or watery compared to those with shorter standing time prior to packaging. Graininess and evaporating process were found to correlate positively. Yogurts were with more grains when manufacturing process's evaporating temperature and evaporating rate (l/h) were higher. The higher milk base fat and dry matter content (%) were found to correlate lesser whey separation in yogurt. In addition the higher evaporating rate was in the yogurt manufacturing process, the lesser whey separation was observed.</p> <p>Results from this research are useful for developing dairy processes concerning yogurt manufacturing.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords yogurt, process, parameter, stirred, texture, viscosity, graininess, whey, fat, protein, correlation			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Viikki Science Library			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

## **Esipuhe**

Maisterin tutkielmani aiheen sain Valio Oy:n tutkimus- ja tuotekehitys yksiköstä. Tutkielmani kokeellinen osuus suoritettiin Valio Oy:n Riihimäen ja Oulun meijereissä. Kiitän tutkimus- ja tuotekehitysyksikössä työskenteleviä seuraavia henkilöitä: DI Kirsi Rajakari, FT Hanna Kontkanen, ETT Päivi Myllärinen. Helsingin Yliopistolta kiitokset ansaitsee ETT Pekka Varmanen.

Tutkielmani valmistumisen edistämisestä Riihimäen meijeristä haluan kiittää Kalle Simanaista ja Pekka Maalaa. Erityiskiitokset ansaitsevat jogurtin valmistajat Jan-Kristian Kajander, Anne Kaijansinkko, Tomi Mynttinen, Toivo Mäki, Susanna Mäkinen, Jari Nurmela, Jari Ojanen, Kalevi Oinonen, Niina Seppälä, Anu Tuhkanen, Taina Vuorinen ja Paula Juurtti. Laboratorion henkilöt: Leea Alakotila, Minna Kuisma, Irja Oksanen, Sari Rytsölä ja Raili Vaara sekä koko laboratorion henkilökunta ovat ansainneet kiitokseni. Lisäksi Riihimäen meijeristä haluan kiittää Anna Rauhanoksaa, Hanna Kalalahtea, kunnossapidon-, jogurtin pakkausosaston-, pakkauskoneen (PP11)- ja ylävaraston henkilökuntaa, Vesa Puhakkaa, sisäkuriiria sekä Insta Automation Oy:tä.

Oulun meijeristä haluan kiittää Sonja Kimpimäkeä, Jaakko Mäkikalliota ja Kaisa Ainassaarta sekä tuotteiden valmistusosastolta Jenni Karhumaata, Terhi Nissistä, Mervi Riikolaa ja Merja Hyttistä.

Helsingin Pitäjänmäeltä haluan kiittää Sami Lehtosta. Helsingin tuotekehitysyksiköstä haluan kiittää Timo Rantiota.

Tahdon kiittää aviomiestäni vahvasta tuesta ja kannustuksesta.

Lopuksi kiitän kaikkia teitä, jotka olette osallistuneet tutkielmani edistämiseen.

## Sisältö

1 JOHDANTO.....	7
2 KIRJALLISUUSTUTKIMUS.....	9
2.1 Lehmänmaidon koostumus.....	9
2.2 Lehmänmaidon koostumuksen vaihtelu.....	13
2.3 Jogurtin valmistus.....	17
2.4 Jogurtin laatuun vaikuttavat tekijät.....	24
2.4.1 Raaka-aineen vaikutus.....	25
2.4.2 Valmistusprosessin vaikutus jogurtin rakenteeseen.....	27
2.5 Jogurtin laatu.....	33
2.5.1 Aistittava laatu.....	33
2.5.2 Viskositeetti.....	36
2.5.3 Hiutaleet.....	37
2.5.4 Heran erottuminen.....	38
3 KOKEELLINEN TUTKIMUS.....	39
3.1 Tutkimuksen tausta ja tavoite.....	39
3.2 Materiaalit ja menetelmät.....	40
3.2.1 Materiaalit.....	40
3.2.2 Valmistusmenetelmät.....	41
3.2.3 Analyysimenetelmät.....	44
3.2.4 Koesuunnitelmat.....	49
4 TULOKSET.....	52
4.1 Riihimäen ja Oulun meijereiden jogurttien laatu.....	52
4.1.1 Jogurttimaidon koostumus ja jogurttimassan loppu pH-arvo.....	52
4.1.2 Viskositeetti.....	52
4.1.3 Hiutalemäärä.....	54
4.1.4 Heramäärä.....	55
4.1.5 Aistinvarainen arviointi.....	56
4.1.6 Tilastollinen tarkastelu.....	57
4.2 Riihimäen meijerin jogurttimaidon proteiinipitoisuuden vaikutus.....	59
4.2.1 Jogurttimaitojen koostumus ja jogurttimassojen loppu pH-arvot.....	59
4.2.2 Viskositeetti (mPas).....	60
4.2.3 Hiutalemäärä (kpl/g).....	60
4.2.4 Heramäärä (ml/kg).....	61

5 POHDINTA.....	62
5.1 Riihimäen meijerin jogurtin laatu .....	62
5.2 Oulun meijerin jogurtin laatu.....	66
5.3 Riihimäen ja Oulun meijereiden välinen tulosten vertailu .....	70
5.4 Optimaalinen jogurtin valmistusprosessi.....	74
6 PÄÄTELMÄT .....	76
7 LÄHDELUETTELO.....	77
8 LIITTEET.....	83
Liite 1. Yksisuuntainen varianssianalyysi .....	84
Liite 2. Spesifikaatorajat; Loppu pH-arvo.....	85
Liite 3. Spesifikaatorajat; Viskositeetti (mPas) .....	86
Liite 4. Spesifikaatorajat; Hiutalemäärä (kpl/g) .....	87
Liite 5. Spesifikaatorajat; Heramäärä (ml/kg) .....	88

## 1 JOHDANTO

Jogurtti on lähtöisin Lähi-idästä noin 2000 vuotta eKr. (Özer 2010). Alkuperäalueen vuoksi jogurtti onkin suosituin ja laajasti levinnyt kypsytetty/hapatettu maitotuote (Bottazzi ja Morelli 2006). Erinomaisen jogurtin perusta on hyvälaatuinen raakamaito, josta prosessoidaan jogurttimaitoa. Tavanomainen menetelmä on että jogurttimaidon rasvapitoisuuden säätämiseen käytetään separointia. Toinen menetelmä on se, että jogurttimaidon rasvapitoisuus säädetään haihdutusvaiheen jälkeen käyttäen erityistä rasvakilo-laskentaa. Rasvavakioinnin jälkeen jogurttimaidon proteiinipitoisuus säädetään haluttuun tasoon käyttäen haihdutusprosessia. Niin ikään jogurttimaidon kuiva-ainepitoisuutta nostaa valmistuksen haihdutusprosessi-vaihe tai maitojauheliöisyys.

Jogurtin laatua parantavat huomattavasti valmistuksen monet prosessivaiheet; erityisesti homogenointi ja pastörinti. Homogenointi pienentää maidon rasvapallosia. Maidon kaseiini- ja heraproteiineja kiinnittyy uusiin, pieniin rasvapallosiin. Homogenoinnin ansiosta rasva ei nouse jogurttimaidon pintaan kypsyttämisen aikana, vaan jogurttimassa pysyy homogeenisena (Tamime ja Robinson 2007a). Seuraava prosessivaihe on jogurttimaidon korkeapastörinti (90°C/5min). Korkeapastörintilämpötilan tarkoitus on tuhota jogurttimaidosta mahdolliset patogeeniset bakteerit, valmistaa jogurttimaidosta hapatebakteerien kasvualusta ja denaturoida heraproteiineja.

Seuraavaksi kuumennuskäsitelty jogurttimaito kypsytetään. Kypsytykseen käytetään termofiilisiä maitohappobakteereja, jotka ovat *Streptococcus thermophilus* ja *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Nämä jogurtin maitohappobakteerit tukevat toistensa kasvua siksi niiden lisäyssuhde onkin 1:1. Maitohappobakteerit muodostavat maidon laktoosista maitohappoa, jolloin jogurttimaidon pH-arvo laskee. Alhainen happamuus edesauttaa jogurttimaidon kaseinimisellien ja denaturoituneiden heraproteiinien yhteenliittymistä eli aggregoitumista, mikä taas vauhdittaa jogurttigeelin muodostumista. (Tamime ja Robinson 1999).

Tyypillisimmät jogurttityypit ovat engl. set type ja sekoitejogurtti, jotka kuvaavat myös jogurttimassan kahta kypsytyksen menetelmää; jogurttipikarikypsytyks (engl. set type) ja sekoitejogurtin (engl. stirred) säiliökypsytyks. Jogurttimassan kypsytyksen tavoite pH-arvo on 4,6 (Lucey ja Singh 1998a; Walstra ym. 2006; Tamime ja Robinson 2007a). Kun

jogurttimassa on kypsynyt, sekoitejogurtin massa rikotaan homogeeniseksi. Lopuksi jogurttimassa jäähdytetään joko yksi- tai kaksivaiheisesti (Tamime ja Robinson 2007a). Jäähdyttäminen pysäyttää jogurtin kypsymisen/hapantumisen (Chandan ja O'Rell 2006b). Yksivaiheinen menetelmä jäähdyttää jogurttimassan ennen pakkaamista  $<10^{\circ}\text{C}$ :een ja kaksivaiheinen menetelmä jäähdyttää jogurttimassan ensin  $\sim 45^{\circ}\text{C}$ :stä  $20^{\circ}\text{C}$ :een ja pakkaamisen jälkeen jogurtti siirretään jäähtymään kylmävarastoon ( $\leq 6^{\circ}\text{C}$ ) (Tamime ja Robinson 2007a).

Valmistusprosessin aikana jogurttiin muodostuu tyypillinen viskoosirakenne. Jogurtti on ei-newtoninen neste joten jogurtin viskositeetti vaihtelee. Siitä syystä jogurtin reologisia ominaisuuksia on erittäin haastavaa mitata ja toisaalta suhteuttaa mitattuja arvoja aistittaviin ominaisuuksiin. Jogurtin reologisten ominaisuuksien mittaamiseen voidaan käyttää esimerkiksi visko-, reo-, tai penetrometrejä (O'Donnel ja Butler 2002; Sodini ym. 2004; Tamime ja Robinson 2007a). Jogurtin aistinvaraisista ominaisuuksista arvioidaan yleensä ulkonäkö, haju, maku, rakenne ja suutuntuma. Lisäksi jogurtista voidaan tutkia geelin mikrorakenne, vedenpidätyskyky varastoinnin aikana ja heran erottuminen eli synereesi. Jogurtin valmistusprosessia ohjaavat rakenneominaisuuksien (loppu pH-arvo, viskositeetti, hiutale- ja heramäärä) spesifikaatorajat (alempi ja ylempi). Ne ovat yrityksen kuluttajia varten asettamat puolivalmisteen tai tuotteen laadun minimi- ja maksimivaatimukset (Karjalainen 2012). Lopuksi valmistunut tuote on suunnitellun mukainen.

Tämän Pro gradu -tutkimuksen tavoitteena oli selvittää jogurtin laatuun vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuksen aluksi jogurtin perustekijästä eli jogurttimaidosta määritettiin koostumus, minkä jälkeen valmiista jogurtista määritettiin rakenneominaisuudet (viskositeetti, hiutaleisuus ja heran erottuminen) käyttäen eritekniikoita. Lopuksi laskettiin jogurtin rakenneominaisuuksien ja valmistusprosessin väliset riippuvuudet eli korrelaatiokertoimet sekä tilastollinen merkitsevyys. Lisäksi tutkimuksen tavoitteena oli määrittää jogurtin valmistusta ohjaavat rakenneominaisuuksien spesifikaatorajat. Pearsonin korrelaatiokertoimien ( $r$ ), tilastollisten merkitsevyyksien ( $p$ -arvo  $\leq 0,05$ ) ja spesifikaatorajojen määrittämiseen käytettiin MINITAB<sup>®</sup> 16 tilasto-ohjelmaa.



## 2 KIRJALLISUUSTUTKIMUS

### 2.1 Lehmänmaidon koostumus

Tuhannet nisäkäslajit erittävät maitoa jälkeläisten ravitsemuksellisia tarpeita varten (Chandan ym. 2008). Maito on tunnetusti erinomainen ravintoaineiden lähde. Maitoa tarvitaan myös lajien kasvuun ja erityisesti nuorten eläinten vastustuskyvyn kehittymiseen. Maitoa voidaanakin kutsua biologiseksi ja funktionaaliseksi nesteeksi.

Lehmänmaito koostuu vedestä, rasvasta (86,6%), proteiinista (4,6%), laktoosista (4,8%) ja mineraaleista (0,7%) (Kailasapathy 2008) (taulukko 1). Lehmänmaidon kuiva-ainepitoisuus on noin 13%. Kuiva-aineen tärkeimmät komponentit ovat laktoosi (37%), rasva (35%) ja proteiini (26%).

**Taulukko 1.** Lehmänmaidon keskimääräinen kemiallinen koostumus (%) (Kailasapathy 2008).

Ainesosa	% ( w/w)
Vesi	86,6
Kuiva-aine	12,6
Rasva	4,6
Proteiini	3,4
Laktoosi	4,8
Mineraalit	0,7

Lehmänmaidon kuiva-aineen partikkelien kokojakauma (taulukko 2) (Walstra ym. 2006; Chandan ym. 2008). Rasvapallosten koot vaihtelevat 1000–10000nm. Kaseiiniproteiinit ovat kooltaan 20–400nm ja heraproteiinit 3–6nm. Laktoosi ja mineraalit ovat liuenneena maidon vesiosaan ja niiden partikkelikoko vain 0,5nm.

**Taulukko 2.** Lehmänmaidon partikkelit ja partikkelikoot (nm) (Walstra ym. 2006; Chandan ym. 2008).

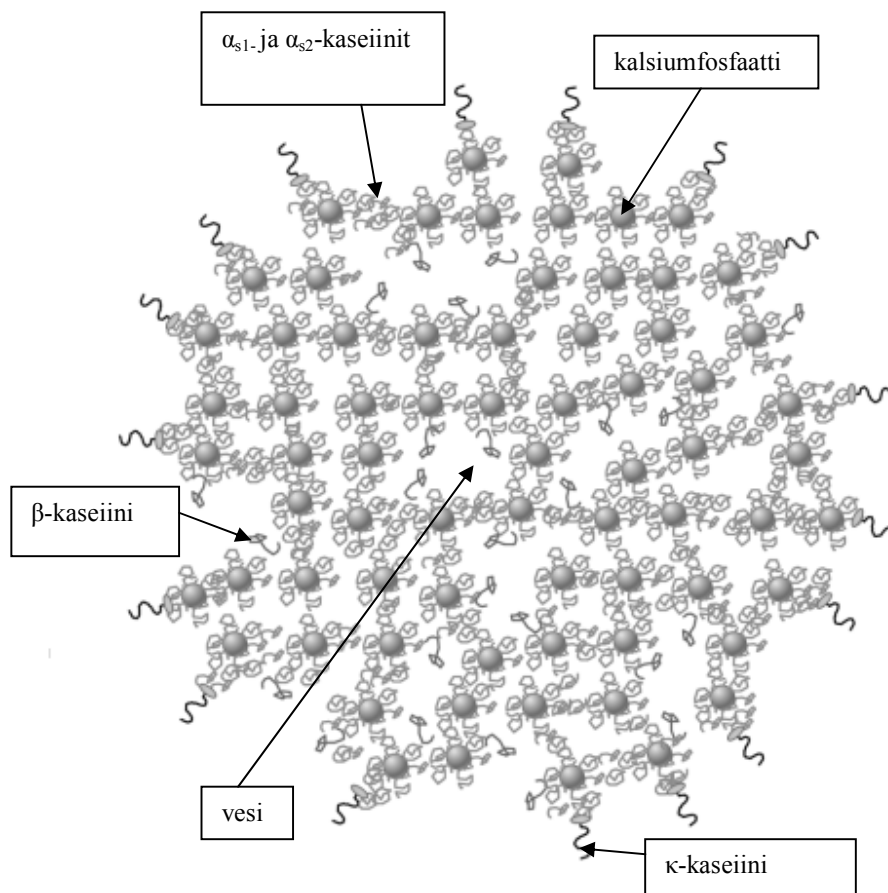
Partikkeli	Partikkelikoko (nm)
Rasvapallo	1000–10000
Kaseiinimiselli	20–400
Heraproteiinit	3–6
Laktoosi, mineraalit, muut	0,5

## Proteiinit

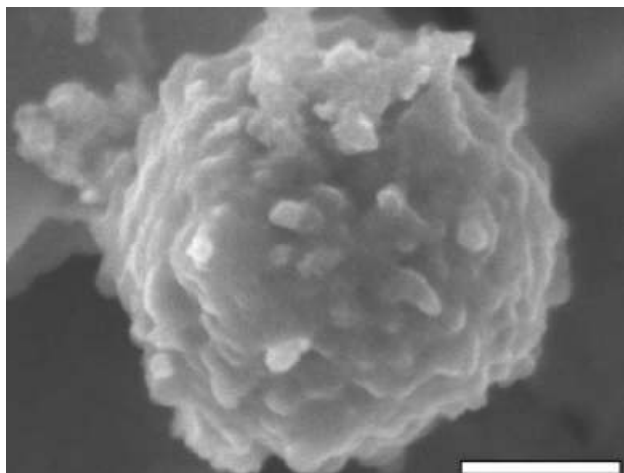
Lehmänmaidon tärkeimmät proteiinikomponentit ovat kaseiinit ja heraproteiinit (Walstra ym. 2006). Kaseiinien osuus proteiineista on ~80% ja heraproteiinien ~20%. Kaseiinien esiintymismuoto on pallonmuotoinen miselli (kuva 1), jota voidaan kutsua sekavaksi "vyyhtiksi". Kaseiinimisellin koko on keskimäärin 150–200nm ja vaihtelee 20–400nm. Kaseiinimisellit koostuvat kaseiiniproteiinipartikkeleista, vedestä, ja mineraaleista ja entsyymeistä. Kaseiiniproteiinipartikkeli koostuu neljästä erilaisesta kaseiiniproteiiniyksiköstä, jotka ovat alfa( $\alpha$ )-(s1 ja s2), beta( $\beta$ )- ja kappa( $\kappa$ )-kaseiini. Näiden suhteellinen jakauma on 4:1:3,5:1,5 (Dalgleish ja Corredig 2012). Kappa-kaseiinit työntyvät kaseiinimisellin pinnasta muodostaen siihen ikään kuin "karva"kerroksen (kuva 1). Kappa-kaseiinien muodostama "karva"kerros on hydrofiilinen ja negatiivisesti varautunut. Kaseiinimisellien on todettu olevan stabiileja kolloideja (Walstra ym. 2006). Kaseiinimisellien pinnan zetapotentiaali eli elektrostaattinen repulsiivisuus (–20mV) estää natiivien kaseiinimisellien aggregoitumista (Dalgleish ja Corredig 2012).

Alfa( $\alpha$ -s1 ja -s2) kaseiineja löytyy kaikkialta kaseiinimisellisistä ja beta-kaseiinit sijaitsevat sisempänä (kuva 1) (Dalgleish ja Corredig 2012). Kaseiiniproteiiniyksiköiden ja kalsiumfosfaattinoklusterin väliset hydrofobiset sidokset sekä kaseiinimisellin peptidiketjujen väliset sidokset pitävät kaseiinimisellin rakenne-elementit toisissaan kiinni (Walstra 2006). Kaseiiniproteiiniyksiköt muodostavat kaseiinimisellin ydinpolymeerit (Dalgleish 2011). Kun kalsiumfosfaatti liittyy kaseiiniproteiiniyksiköihin muodostuu ns. superpolymeereja. Kappa-kaseiiniproteiiniyksikön liittyminen kaseiinimisellin pinnan kaseiiniproteiiniyksiköiden aggregaatteihin rajoittaa ydinpolymeerien vuorovaikutuksia. Seurauksena aggregaatioiden väleihin jää veden täyttämiä aukkoja. Tutkijoiden mukaan nämä kaseiiniproteiiniyksiköiden väliset vuorovaikutukset (ydin- ja superpolymeerit) muodostavat hypoteesin kaseiinimisellin submiselleistä. Kaseiinimiselli on rakenteensa vuoksi avoin ja erittäin hydratoitunut (Dalgleish ja Corredig 2012). Kaseiinimisellit sisältävät vettä 3–4g/g proteiinia.

Dalgleishin ym. (2004) tutkivat kaseiinimisellin rakennetta käyttäen pyyhkäisyelektronimikroskooppia. Tutkijat löysivät rakenteesta putkimaisia tai sylinterimäisiä rakennelmia, jotka olivat 10–20nm pitkiä (kuva 2). Tutkijoiden mukaan rakennelmat olivat luultavasti luhistuneita kappa-kaseiinipartikkeleita ja tekevät kaseiinimisellisistä huokoisen.



**Kuva 1.** Kaseiinimisellin rakenne (Dalgleish ja Corredig 2012).



**Kuva 2.** Yksittäinen kaseiinimiselli, elektronimikroskooppikuva, asteikko 100 nm (Dalgleish ym. 2004).

Tärkeimmät heraproteiinit ovat beta-laktoglobuliini ( $\beta$ -Lg) ja alfa-laktalbumiini ( $\alpha$ -La) (Tamime ja Robinson 2007a). Beta-laktoglobuliineja on heraproteiineista yli 50% ja alfa-laktalbumiineja noin 20%. Muita heraproteiineja kuten immunoglobuliineja (Ig), naudan seerumin albumiinia (engl. BSA), laktoferriiniä (Lf) ja proteoosi-peptonia on pienemmät pitoisuudet.  $\beta$ -Lg ja  $\alpha$ -La ovat liuenneena maidon seerumiosaan globulaarisina molekyyleinä.  $\beta$ -Lg on dimeeri kun lehmänmaidon pH-arvo on neutraali ( $\sim 7$ ).  $\beta$ -Lg on monomeeri mikäli maidon pH-arvo on  $< 3,5$  tai  $> 7,5$  ja  $\beta$ -Lg on oktameeri kun pH-arvo on  $3,5-5,5$ .

### Entsyymit

Lehmänmaidosta on löydetty noin 70 luontaista entsyymiä (Fox ja Kelly 2006). Entsyymit esiintyvät joko vapaana tai ovat sitoutuneina eri partikkeleihin. Entsyymien katalysoimat tietyt reaktiot ja entsyymien merkitykset ovat spesifisiä (taulukko 3).

**Taulukko 3.** Tärkeimmät lehmänmaidon luontaiset entsyymit ja niiden merkitys.

Entsyymi	Sijainti	Merkitys	Lähde
Alkalinen fosfataasi	membraani	pastöroinnin indikaattori	Walstra ym. (2006)
Lipoproteiini lipaasi	kaseiinimiselli	lipolyysi	Fox ja Kelly (2006); Walstra ym. (2006)
Plasmiini	kaseiinimiselli	proteolyysi	Chandan (2006)
Laktoperoksidaasi	seerumi	estää mikrob. pilaantumista	Chandan (2006); Fox ja Kelly (2006)
Katalaasi	leukosyytti	utaretulehdus	Fox ja Kelly (2006)
Ksantiini oksidaasi	membraani	osallistuu hapettumiseen	Walstra ym. (2006)
Sulfhydryyli oksidaasi	plasma	osallistuu hapettumiseen	Walstra ym. (2006)
Superoksidi dismutaasi	plasma	ehkäisee hapettumista	Walstra ym. (2006)

### Rasva

Lehmänmaidon rasvan eli lipidien esiintymismuoto on rasvapallo (Walstra ym. 2006; Kailasapathy 2008). Lipidien tärkein rasvafraktio on triasyyliglyseroli (98%) (taulukko 4). Muita rasvafraktioita on huomattavasti vähemmän kuten diasyyliglyseroleja, fosfolipidejä. Asyyliglyserolit koostuvat hiiliketjultaan eripituisista ( $C4-18$ ) rasvahapoista, joita tunnetaan yli 12. Tri-, di- ja monoasyyliglyserolien sekä sterolien sijaintipaikka on enimmäkseen rasvapallosten ydin. Fosfolipidit ja muut rasvafraktiot ovat adsorboituneena rasvapallosia ympäröivään membraaniin.

**Taulukko 4.** Lehmänmaidon sisältämät rasvafraktiot ja niiden osuudet painoprosentteina (Walstra ym. 2006).

<b>Rasvafraktio</b>	<b>% (w/w)</b>
Triasyyliglyserolit	98,3
Diasyyliglyserolit	0,3
Monoasyyliglyserolit	0,03
Vapaat rasvahapot	0,1
Fosfolipidit	0,8
Sterolit	0,32
Muut	0,01

### Laktoosi

Laktoosi eli maitosokeri on lehmänmaidon hallitsevin hiilihydraatti. Laktoosi on disakkaridi. (Kailasapathy 2008). Laktoosin synteesi on tapahtumaketju, mikä muodostaa laktoosimolekyylin kahdesta monosakkaridista; glukoosista ja galaktoosista (McDonald ym. 2011). Laktoosi säätelee maidon tärkeitä fysikaalisia ominaisuuksia kuten osmoottista painetta, jäätymis-  $[-0,512; -0,560^{\circ}\text{C}]$  ja kiehumispistettä ( $100,17^{\circ}\text{C}$ ) sekä tiheyttä ( $\sim 1,030\text{g/cm}^3; 20^{\circ}\text{C}$ ) (Chandan 2006; Kailasapathy 2008; Valioryhmän laatutiimi 2012).

### Mineraalit

Lehmänmaidon epäorgaaniset ainesosat jakautuvat mineraaleihin ja hivenaineisiin. Tärkeimmät mineraalit ovat kalsium, kalium, kloori, fosfaatti, natrium ja magnesium (Walstra ym. 2006; McDonald ym. 2011). Ne esiintyvät myös anioneina (suoloina) ja ovat maidon fosfaatteja, klorideja, sitraatteja ja kaseinaatteja. Kaseiinimiselliin on liittyneenä eniten kalsiumfosfaattia ja sitraattia sekä muita mineraaleja pienempiä pitoisuuksia. Mineraalien lisäksi maito sisältää hivenaineita noin 25 erilaista esim. sinkkiä, rautaa ja kuparia. Mineraaleja ja hivenaineita on liuenneena myös maidon seerumiosaan.

## **2.2 Lehmänmaidon koostumuksen vaihtelu**

Lehmänmaidon koostumuksen luontaiseen vaihteluun vaikuttavat yleisimmin: yksilö, lehmärodun geneettiset tekijät, laktaatiokauden vaihe ja laktaatiokausien määrä, vuorokauden- ja vuodenaika, ruokinta, hoito, ympäristö, poikiminen, sairaudet ja lääkitys (Chandan 2006).

### Proteiinipitoisuus

Heckin ym. (2009) tutkimuksen mukaan lehmänmaidon kokonaiskoostumuksesta vaihteli eniten proteiinipitoisuus, jonka vaihteluun puolestaan vaikutti eniten vuodenaika. Hollantilaiset (Heck ym. 2007) ja korealaiset (Park ym. 2007) tutkijat ovat todenneet että lehmänmaidon proteiinipitoisuus oli alhaisimmillaan kesäkuukausina (kesä–elokuu) ja korkeimmillaan talvikuukausina (joulu–helmikuu).

Walstran ym. (2006) mukaan lehmänmaidon proteiinipitoisuuteen vaikuttaa lehmän elinolosuhteet esim. maa ja lehmärotu. Erimaat olivat tutkineet Holstein lehmärodun lehmänmaidon koostumusta. Tutkimusten mukaan hollantilaiset elinolosuhteet nostivat Holstein rodun lehmänmaitojen proteiinipitoisuutta 3,48%:iin (Heck ym. 2009) kun taas korealaiset elinolosuhteet laskivat proteiinipitoisuuden 3,22%:iin (Park ym. 2007). Suomalaiset elinolosuhteet vaikuttivat Holstein rodun proteiinipitoisuuteen siten että tutkimustulos (3,32%) sijoittui hollantilaisten ja korealaisten tutkimusten välimaastoon (Faba 2011 nautakarjanjalostus yritys). Faba (2011) oli myös vertaillut kahden lehmärodun maidon proteiinipitoisuutta. Faban (2011) mukaan Suomen yleisimmän lehmärodun; Ayshiren maito oli proteiinipitoisempaa (3,44%) kuin Holsteinin (3,32%).

McDonaldin ym. (2011) mukaan lehmänmaidon proteiinipitoisuuteen vaikuttaa maidontuotantokausien (laktaatio) lukumäärä. Mikäli lehmä oli käynyt läpi monia laktaatiokausia (1–11), sitä alhaisempi oli maidon proteiinipitoisuus ja pitoisuuden laskusuuntaus (taulukko 5). Proteiinipitoisuus oli voinut laskea useiden (1–11) laktaatiokausien aikana enimmillään ~6%. Proteiinipitoisuus laski myös yhden laktaatiokauden aikana jyrkästi päivästä 15 päivään 45, jonka jälkeen proteiinipitoisuus nousi lineaarisesti laktaatiokauden loppuun saakka.

### Rasvapitoisuus

Useat eritekijät vaikuttavat lehmänmaidon rasvapitoisuuden vaihteluun. McDonaldin ym. (2011) mukaan lehmän useat laktaatiokaudet laskivat rasvapitoisuutta ~8% kausina 1–11 (taulukko 5). Heckin ym. (2009) mukaan rasvapitoisuuteen vaikutti myös vuodenaika. Heck ym. (2009) totesivat tutkimuksessaan että lehmänmaidon rasvapitoisuus oli alhaisimmillaan kesäkuukausina (kesä–heinäkuu) ja korkeimmillaan talvikuukausina (joulu–helmikuu). Lisäksi Heckin ym. (2009) mukaan rasvahappojen koostumus vaihteli eri vuodenaikoina.

Lehmänmaidon rasva sisälsi kesäaikaan enimmäkseen lyhyt hiiliketjuisia (C4-13) rasvahappoja kun taas talvikautena rasvahappojen hiiliketjut olivat pidempiä (C14-20).

**Taulukko 5.** Lehmän maidontuotantokausien (laktaatio) lukumäärän vaikutus maidon proteiini- ja rasvapitoisuuksiin (%) (McDonald ym. 2011).

Laktaatiokausi	Proteiinipitoisuus (%)	Rasvapitoisuus (%)
1	3,36	4,11
2	3,35	4,06
3	3,28	4,03
4	3,3	4,02
11	3,16	3,77

Myös Faba (2011) oli tutkinut lehmärodun vaikutusta rasvapitoisuuteen. Faban (2011) mukaan Suomessa Ayshire rodun maidon rasvapitoisuus (4,27%) oli korkeampi kuin Holstein rodun rasvapitoisuus (3,95%).

#### Laktoosipitoisuus

Tetra Pak (2003), Heck ym. (2009) ja McDonald ym. (2011) olivat tutkineet lehmänmaidon laktoosipitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä. McDonald ym. (2011) mukaan laktoosipitoisuutta vähensi etenkin maidontuotantokauden loppuvaihe. Laktoosipitoisuus laski tasaisesti maidontuotantokauden alusta (päivä45) kauden loppuun saakka (päivä285). Myös maidontuotantokausien lukumäärä laski laktoosipitoisuutta 5,5% kausina 1–11. Heckin ym. (2009) tutkimuksen mukaan laktoosipitoisuuteen vaikutti myös vuodenaika. Tutkijoiden mukaan laktoosipitoisuus oli alhaisimmillaan syyskautena (lokakuu) ja korkeimmillaan kevätkautena (huhtikuu).

#### Muut

Lehmänmaito sisältää myös kaasuja kuten hiilidioksidia, typpeä ja happea (Tetra Pak 2003). Vastalypsetyn raakamaidon kokonaiskaasupitoisuus on noin 5–6%. Pitoisuus voi nousta jopa 10%:iin käsittelyjen, kuljetusten ja säilytysten aikana.

McDonaldin ym. (2011) mukaan lehmien kokonaisvaltainen ja hyvähoito parantaa maidon koostumusta sekä vähentää koostumuksen vaihtelua. Walstran ym. (2006) mukaan vastalypsetyn maidon tilasäiliöjäähdytys (4°C) ehkäisee maidon pilaantumista. Lisäksi

meijerin vastaanottaman lehmänmaidon koostumus vaihtelee vähemmän kuin yksittäisen lehmän maito, koska vastaanotettu maito on sekoitus satojen lehmien maidoista. Maitotuotteiden rakenneominaisuuksiin voidaan vaikuttaa kun tuotantoprosessi valvoo ja seuraa raakamaidon rasva- ja proteiinipitoisuuksia. Prosessin pitoisuuksien säätöjen tuloksena saadaan maitotuotteita, jotka miellyttävät kuluttajia.

Maidon biokemialliset muutokset johtuvat entsyymeistä ja niiden katalysoimista reaktioista (Walstra ym. 2006). Entsyymit ovat yleensä inaktiivisina vaikka niiden pitoisuudet olisivatkin isoja. Reaktiot syntyvät kun tietty entsyymi tarvitsee spesifiset olosuhteet. Raakamaidon laatua voidaan seurata kun testataan entsyymien aktiivisuus.

Maitotilalta meijeriin toimitettavan raakamaidon bakteerien pesäkemäärän ja somaattisten solujen korkeimmat sallitut rajat (luokka II) on asetettu EU:n lainsäädäntöön (EY853/2004). Nykyään suomalaiset meijerit hinnoittelevat ja luokittelevat raakamaidon itsenäisesti (taulukko 6).

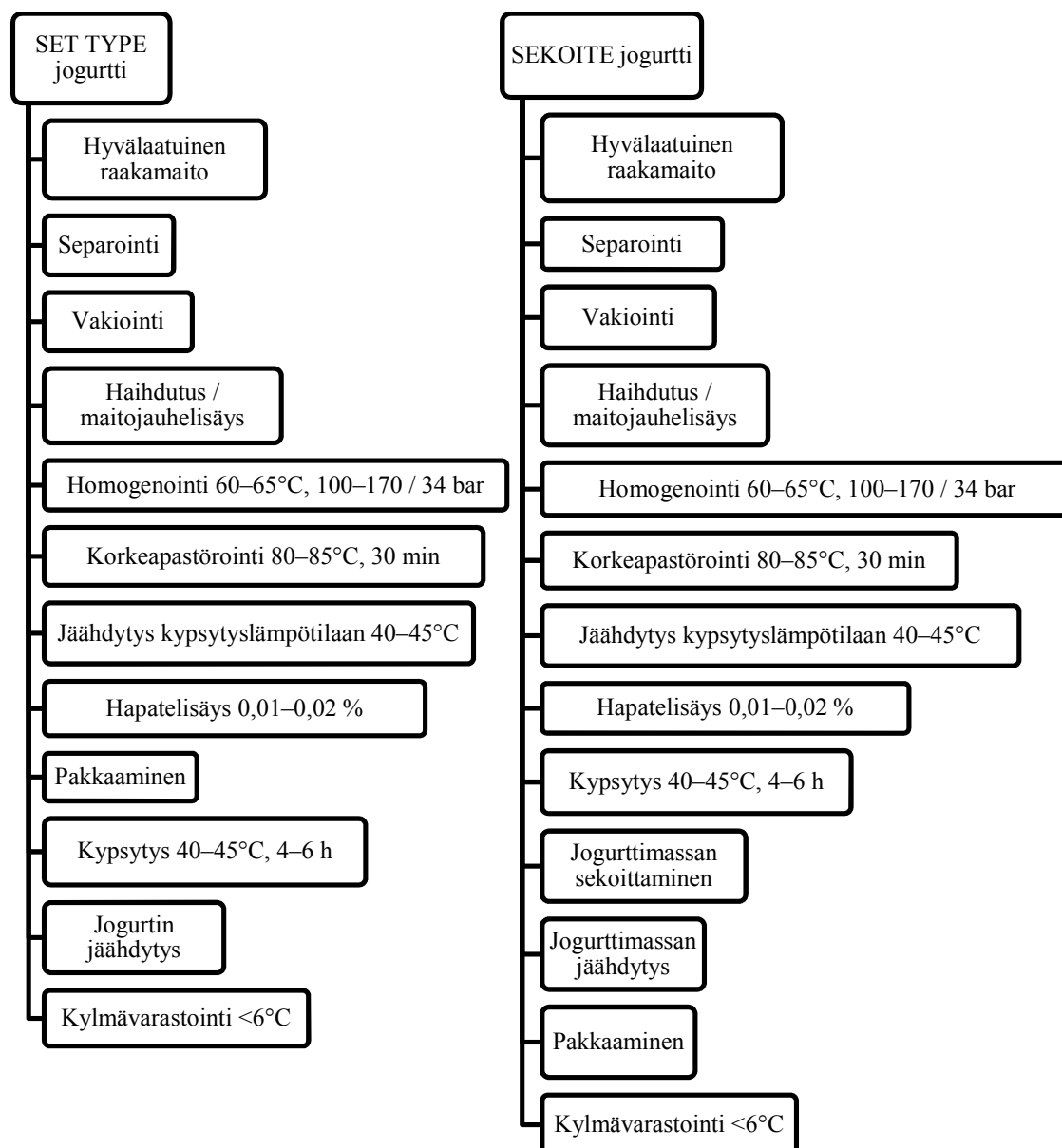
**Taulukko 6.** Lehmän raakamaidon laatuvaatimukset (EY 2004; Maitohygienialiitto 2012; Valioryhmän laatutiimi 2012).

<b>Luokka</b>	<b>E</b>	<b>I</b>	<b>II</b>
Bakteerien pesäkemäärä (pmy/ml)	< 50 000	50 000 -	> 100 000
geometrinen keskiarvo, 2 kk, liukuva		100 000	
Somaattiset solut (solut/ml)	< 250 000	250 000 -	> 400 000
geometrinen keskiarvo, 3 kk, liukuva		400 000	



## 2.3 Jogurtin valmistus

Jogurtin valmistusprosessin tyypillisimmät vaiheet ovat: maidon vakiointi, homogenointi, korkeapastörinti, kypsytytys, pakkaaminen, jäähdytys ja varastointi. Jogurtti voidaan kypsyttää käyttäen pakkausta (jogurttipikari) (engl. set type) tai kypsytyssäiliötä (sekoitejogurtti; engl. stirred). Jogurtin valmistusprosessin vaiheet (kuva 3).



**Kuva 3.** Set type- ja sekoitejogurtin valmistusprosessikaaviot (Vasiljevic ja Shah 2008).

### Separointi

Jogurtin valmistukseen käytettävä hyvälaatuinen raakamaito separoidaan eli prosessointi erottaa maidosta kerman ja kuoritun maidon (Özer 2010). Separoinnin tehokkuuteen vaikuttavat maidon rasvapallosten koko, partikkelien- ja maidon tiheys, maidon viskositeetti sekä keskipakois- ja painovoima (Chandan 2006).

Separointi on tehokkaampaa, kun prosessoitava maito esilämmitetään 50–60°C:een (Chandan 2006). Tällöin maidon rasva muuttuu juoksevammaksi. Kun keskipakoisvoima lisääntyy ja separaattorin kulmanopeus kasvaa, separaattori kiihdyttää rasvapallosten kohoamisvauhtia eli rasvapalloset nousevat separaattorin yläosaan nopeammin (Tetra Pak 2003). Osa rasvapalloista myös sedimentoituu eli sakkautuu. Separattorin kulmanopeus nostaa rasvapallosten sedimentoitumisvauhtia ja lisää painovoiman (gravitaatiovoima) vaikutusta. Separoinnin tehokkuus lasketaan rasvapallosten sedimentoitumisnopeudesta painovoiman vaikutuksen alaisena. Maidon rasvan sentrifugi sedimentoituminen on 6500 kertaa nopeampaa kuin painovoima sedimentoituminen.

### Vakiointi

Separoinnin jälkeen maito vakioidaan eli rasvapitoisuus säädetään halutuksi riippuen tuotteesta (Tamime ja Robinson 2007b; Gürakan ja Altay 2010). Tavanomainen vakiointimenetelmä on se että kermaa syötetään kuoritun maidon maitovirtaan niin että jogurttimaito on vakioitu haluttuun rasvaprosenttiin (0,1–10%).

### Kuiva-ainepitoisuuden nosto

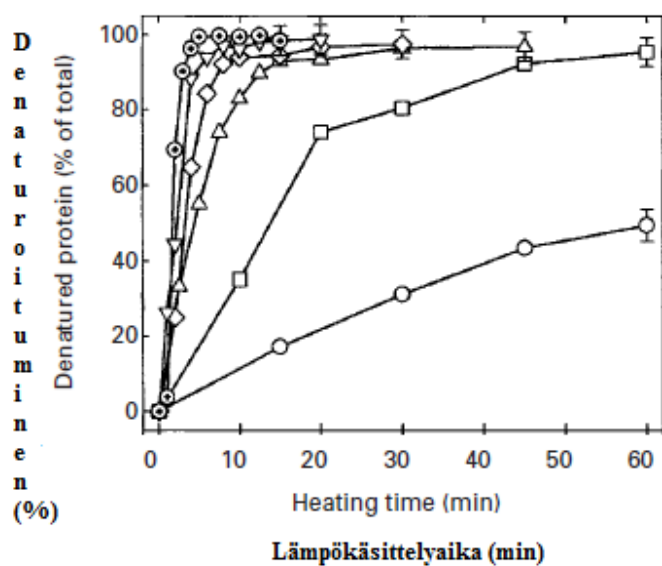
Ennen kuin haihdutusprosessi aloitetaan, maidosta pitää poistaa kaasut ( $\text{CO}_2, \text{O}_2, \text{N}_2$ ) (Tetra Pak 2003). Kuoritun maidon tiivistämiseen, konsentroituihin ja kuiva-ainepitoisuuden nostoon käytetään haihdutusprosessia. Haihdutusprosessi-laitteistoon (55–70°C) liitetty ilmanerottaja poistaa maidosta ilman, jolloin maidon kiinnipalaminen haihdutusprosessi-laitteistoon estyy. Lisäksi haihdutusprosessi-vaihe poistaa kuoritusta maidosta veden, minkä vuoksi haihdutus tapahtuu käyttäen alipainetta (~-0,5bar), minkä vuoksi veden haihduttamiseen kuoritusta maidosta voidaan käyttää matalampaa haihdutuslämpötilaa (Özer 2010).

### Homogenointi

Jogurttimaidon homogenointivaiheen lämpötila on normaalisti 55–65°C ja paine 100–200 bar (Sodini ym. 2004). Homogenointi pienentää maidon rasvapallosia, mikä lisää niiden pintaa. (Sodini ym. 2004; Tamime ja Robinson 2007a). Homogenoinnin aikana kaseiinimisellit adsorpoituvat pienentyneiden rasvapallosten pintaan (Tamime ja Robinson 2007b). Tuloksena jogurtin rakenne paranee koska viskositeetti kasvaa. Lisäksi kaseiinimisellien adsorboituminen nostaa jogurtin vedensidontakykyä, jolloin heraa erottuu rakenteesta vähemmän (Tamime ja Robinson 1999). Kaseiinimisellien adsorptio rasvapallosten membraaniin ehkäisee myös rasvapallosten aggregoitumista. Lisäksi fosfolipidejä dissosioituu rasvapallosten membraanista kuoritun maidon fraktioon, jolloin jogurttimaito saattaa vaahtoutua kun sitä siirretään kypsytysäiliöön.

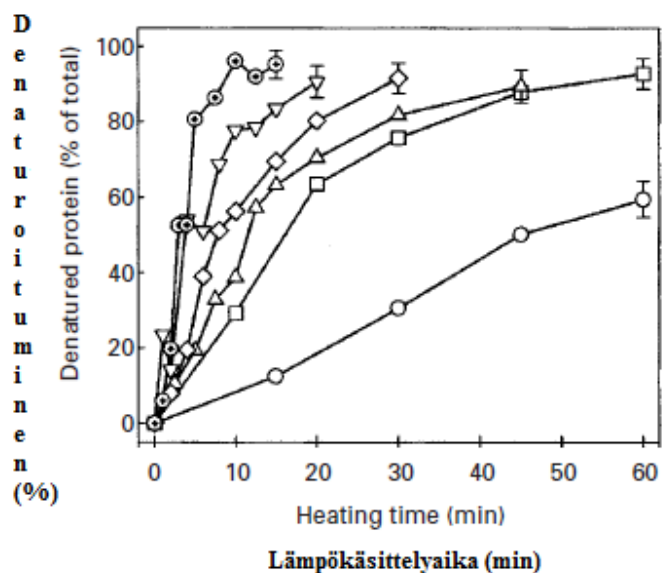
### Pastörinti

Jogurttimaidon pastöroinnin (90–95°C/5–10 min) tarkoitus on tuhota patogeenit ja muut ei-toivotut organismit (Tamime ja Robinson 1999; Bottazzi ja Morelli 2006). Sopiva pastörinti lämpötila/aika yhdistelmä denaturoi maidon heraproteiineja. Aneman ja Lin (2003) mukaan pastörintilämpötila vaikuttaa heraproteiinien denaturoitumisasteeseen (%). Aneman ja Lin (2003) mukaan beta-laktoglobuliinia denaturoitui hyvin vähän (~20%) kun lämpötila oli 75°C (kuva 4) mutta  $\beta$ -Lg:n denaturoituminen alkoi nopeasti kun lämpötila oli 85–100°C.  $\beta$ -Lg denaturoitui täysin kun lämpötila/aika yhdistelmä oli  $\geq 90^\circ\text{C}/\leq 20$  min.



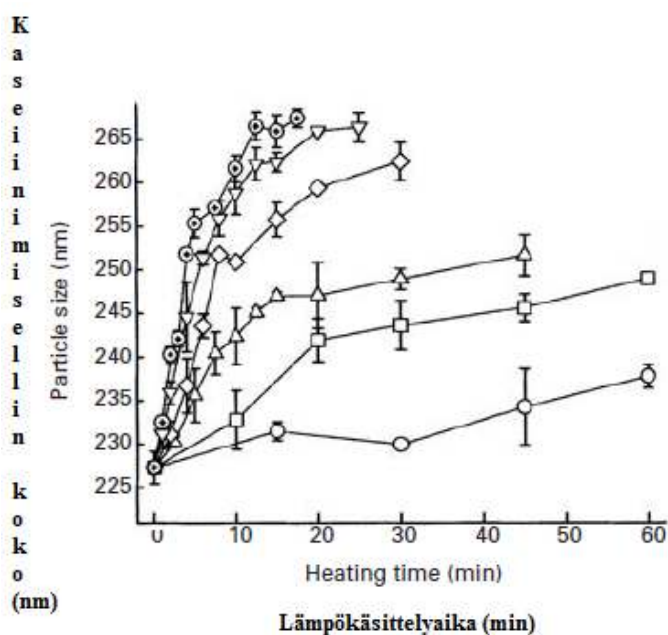
**Kuva 4.** Beta-laktoglobuliinin ( $\beta$ -Lg) denaturoituminen (%) lämpötila 75–100°C , aika 0–60 min. Lämpötilakoodit °C: ○ 75, □ 80, △ 85, ◇ 90, ▽ 95, ⊕ 100 (Anema ja Li 2003).

Alfa-laktalbumiini reagoi hitaammin lämpökäsittelyyn kuin beta-laktoglobuliini (kuva 5). Alfa-laktalbumiinista denaturoitui noin 90% (95°C/45min) verrattuna  $\beta$ -laktoglobuliinin 100%:iin.



**Kuva 5.** Alfa-laktalbumiinin ( $\alpha$ -La) denaturoituminen (%), lämpötila 75–100°C , aika 0–60 min. Lämpötilakoodit °C: ○ 75, □ 80, △ 85, ◇ 90, ▽ 95, ⊕ 100 (Anema ja Li 2003).

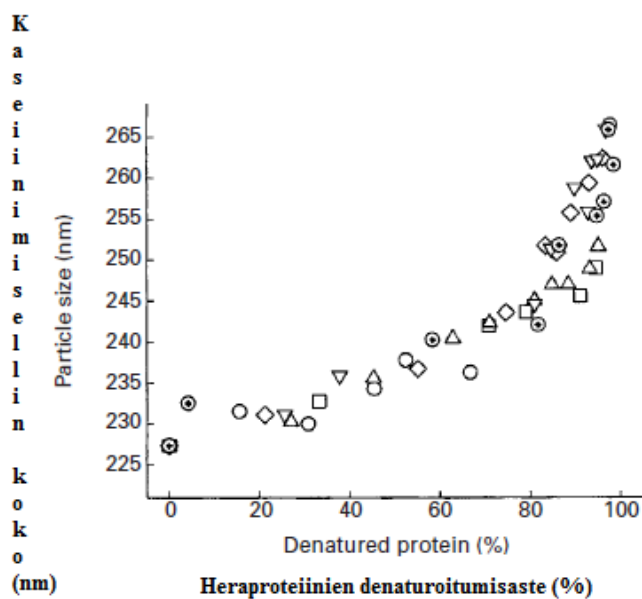
Aneman ja Lin (2003) tutkimuksen mukaan lämpötilan ja ajan erilaiset yhdistelmät vaikuttivat kaseiinimisellin kokoon (kuva 6). Tutkijoiden mukaan kaseiinimisellin koko kasvoi, kun tutkittiin kaikki tutkimuksen yhdistelmät (75–100°C/0-60min). Kaseiinimisellin koko oli ~230nm (75°C) ja ~270nm (100°C). Kaseiinimisellin koon kasvu oli noin 40nm 100°C/20min.



**Kuva 6.** Kaseiinimisellin koko, lämpötila 75–100°C (Anema ja Li 2003).

Lämpötilakoodit °C: ○ 75, □ 80, △ 85, ◇ 90, ▽ 95, ⊕ 100.

Aneman ja Lin (2003) tutkimuksen mukaan kaseiinimisellin koko kasvoi kun denaturoituneita heraproteiineja liittyi kaseiinimiselleihin. Kun heraproteiineista oli denaturoitunut noin 80%, kaseiinimisellin koko oli kasvanut ~8%. Kun heraproteiinit olivat täysin denaturoituneet, kaseiinimisellin koko oli kasvanut ~15% (kuva 7). Aneman ja Lin (2003) tutkimuksen mukaan ~80% denaturoituneista heraproteiineista liittyi kaseiinimiselleihin.



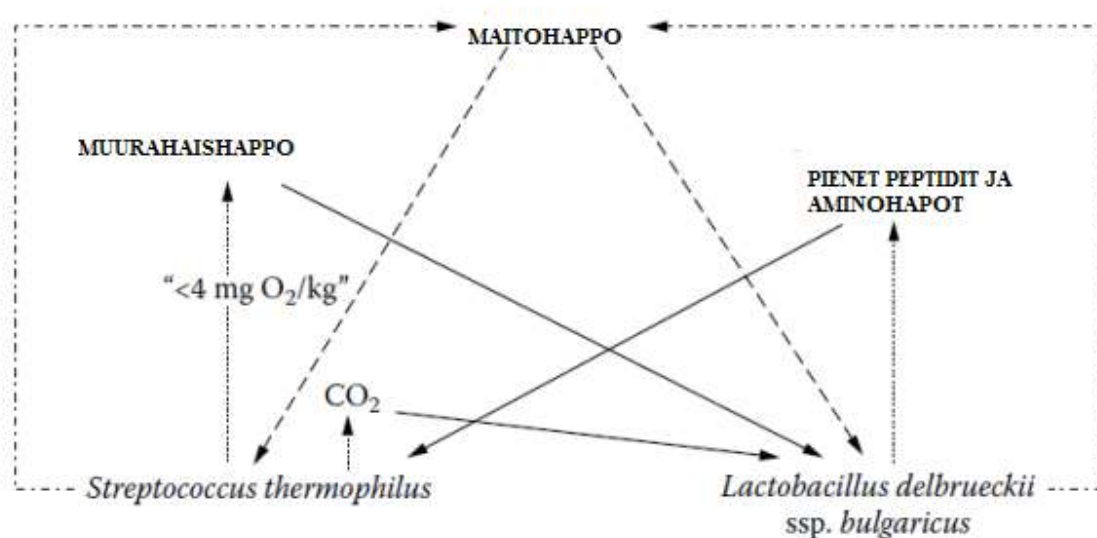
**Kuva 7.** Heraproteiinien denaturoitumisasteen (%) vaikutus kaseinimisellin kokoon (lämpötila 75–100 °C) (Anema ja Li 2003). Lämpötilakoodit °C: ○ 75, □ 80, △ 85, ◇ 90, ▽ 95, ⊕ 100 .

Kaseinimisellit kestävät kuumennuskäsittelyä paremmin kuin heraproteiinit (Dalglish 2010). Kaseinimisellin löyhä "vyyhtimäinen" rakenne kestää yli 100°C:een lämpötilaa.

Laktoosin rakenne muuttuu kun maitoa kuumennuskäsitellään. Mikäli maidon kuumennuskäsittely on korkea, laktoosin glukoosiyksikkö muuttuu fruktoosiksi rengasrakenteen avautumisvaiheen kautta (Kailasapathy 2008). Ilmiö on nimeltään mutarotaatio (Walstra ym. 2006). Laktoosin muuttuminen laktuloosiksi on ilmiönä nimeltään isomeroituminen (galaktoosi+fruktoosi=laktuloosi). Kuumennuskäsittelyn voimakkuuden tarkasteluun voidaan käyttää muodostunutta laktuloosin määrää (Cataldi ym. 1999; Villamiel ym. 1999; Walstra ym. 2006). Toisaalta mikäli kuumennuskäsittely on hyvin voimakasta (~120°C), laktoosi ja proteiinien lysiini-aminohappotähteet osallistuvat Maillard-reaktioon. Reaktio aiheuttaa muutoksia maidon flavoriin, väriin ja ravitsemukselliseen arvoon.

## Kypsytytys

Jogurttihapatteiden optimaalinen kasvualusta saadaan aikaan kun jogurttimaito pastöroidaan niin että maidon natiivit entsyymit inaktivoituvat, patogeenit ja muut haitalliset organismit tuhoutuvat. Jogurttimassan kypsyttämiseen tarkoitettut termofiiliset hapatebakteerit ovat *Streptococcus thermophilus* ja *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Jogurttimassan kypsytyslämpötila on 40–45°C ja -aika 4–6 tuntia tai niin kauan kunnes tavoite pH-arvo 4,6 on saavutettu (Lucey ja Singh 1998a; Tamime ja Robinson 1999; Yildiz 2010). Hapatebakteerit *Streptococcus thermophilus* ja *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* kasvavat symbioottisesti (kuva 8) (Walstra ym. 2006), jonka vuoksi niiden kasvu, maitohapon ja flavorin tuotanto on tehokasta. Proteolyttiset entsyymit edesauttavat hapatebakteeria *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* tuottamaan kaseiineista peptidejä ja aminohappoja, jotka puolestaan stimuloivat hapatebakteerin *Streptococcus thermophilus* kasvua. *Streptococcus thermophilus* muodostaa kasvun aikana muurahaishappoa ja hiilidioksidia, joka puolestaan stimuloi hapatebakteerin *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* kasvua.



**Kuva 8.** Jogurtin hapatebakteerien kasvun inhibitio ja stimulaatio. Maitohapon muodostuminen -----, kasvutekijöiden muodostuminen ..... , kasvun stimulointi ————— , kasvun estyminen — — — — — (Walstra ym. 2006).

Jogurtin tyypillinen aromi syntyy jogurttimassan kypsymisen aikana kun *Streptococcus thermophilus* ja *Lactobacillus delbrueckii* subsp *bulgaricus* tuottavat treoniini-aminohaposta jogurtin tyypillistä flavoriyhdistettä (asetaldehydi) (Walstra ym. 2006). Kypsytykseen käytetään muitakin bakteeriviljelmiä kuin *Streptococcus thermophilus* ja *Lactobacillus delbrueckii* subsp *bulgaricus*. Yleisimmät niistä ovat *Lactobacillus acidophilus* ja *Bifidobacterium* lajit (Kailasapathy 2008). Bifidobakteerien tiedetään edistävän terveyttä, siksi niitä käytetäänkin hapanmaitotuotteiden kypsytykseen (Walstra ym. 2006; Kailasapathy 2008).

### Massan sekoittaminen

Sekoitejogurtin massa sekoitetaan kypsymisen jälkeen. Kypsytyssäiliöstä jogurttimassa siirretään edelleen putkistoja pitkin prosessoinnin jatkokäsittelyihin (Sodini ym. 2004). Koska tavoitteena on homogeeninen jogurtin rakenne, siirtoputkiin on voitu asentaa esim. putkisiivilöitä ja erityisiä jogurttimassaa muokkaavia- tai stretching pumppuja.

### Jäähdytys

Sekoittamisen ja pumppaamisen jälkeen jogurttimassa jäähdytetään yksi- tai kaksivaiheisesti (Tamime ja Robinson 1999). Yksivaiheinen menetelmä jäähdyttää jogurttimassan ennen pakkaamista <10°C:een. Kaksivaiheinen menetelmä jäähdyttää jogurttimassan ensin ~45°C:stä 20°C:een ja pakkaamisen jälkeen jogurtti jäähdytetään ja kylmävarastoidaan (≤6°C).

## **2.4 Jogurtin laatuun vaikuttavat tekijät**

Jogurtti on ei-newtoninen neste ja sitä voidaankin kutsua puolikiinteäksi kypsytyksi maitotuotteeksi (Yildiz 2010). Reologia tutkii aineiden muodonmuutoksia ja virtausominaisuuksia. Reologian tärkein suure on viskositeetti, joka tarkoittaa aineen kykyä vastustaa virtausta. Jogurtin reologisiin ominaisuuksiin (viskositeetti) vaikuttaa jogurttimaidon koostumus, erityisesti korkea kuiva-ainepitoisuus (Gürakan ja Altay 2010). Kun jogurtin kypsyttämiseen tarkoitettut osatekijät: maitohappobakteerit, kypsytyks- ja varastointilämpötila sekä varastointiaika valitaan oikein, voidaan valmistaa erilaisia jogurtteja, joiden virtausominaisuudet vaihtelevat.



### 2.4.1 Raaka-aineen vaikutus

Euroopan yhteisön komission päätöksen mukaan mikrobilääkejäämiä sisältävän raakamaidon eteenpäin toimittaminen maitoalaan liittyvien yritysten toimesta on kielletty (EY 853/2004; Finlex 1368/2011; Valioryhmän laatutiimi 2012). Jogurtin valmistukseen käytettävä maito pitää olla puhdas mikrobilääkejäämistä, pesuaineista ja bakteriofageista (Özer 2010).

#### raakamaito

Jogurtin valmistukseen käytettävän raakamaidon laatuvaatimukset ovat: raakamaito saa sisältää somaattisia soluja korkeintaan 250 000 kpl/ml (Özer 2010), raakamaidon mikrobiologinen laatu pitää olla erinomainen. Myös raakamaidon kemiallisen koostumuksen laatutaso pitää olla erinomainen koska jogurttimaidon rasva- ja proteiinipitoisuudet vaikuttavat jogurtin rakenteeseen eniten (Bottazzi ja Morelli 2006). Elintarvikealan kansainvälisen standardin (Codex 2011) mukaan jogurtin proteiinipitoisuus pitää olla vähintään 2,7%. Sodin ym. (2004) tutkimuksen mukaan kaksi tärkeintä jogurtin rakenneominaisuuksiin vaikuttavaa tekijää olivat jogurtin proteiinin- ja kokonaiskuiva-ainepitoisuuden suhde (~0,35) heraproteiinien sekä kaseiinien suhde (~0,22). Özerin (2010) mukaan heraa erottui jogurtin rakenteesta runsaammin, jos heraproteiinien ja kaseiinien suhde poikkesi selvästi normaalista. Tamime ja Robinsonin (2007a) sekä Leen ja Luceyn (2010) mukaan maidon proteiinipitoisuutta ja kaseiinin kokonaismäärää voitiin nostaa käyttäen proteiinilisäystä. Näin jogurttiin saatiin paksumpi eli viskoosimpi rakenne. Mikäli proteiinilisäys oli 1,8%, jogurtin viskositeetti kasvoi yli 50%. Suositeltava jogurttimaidon proteiinipitoisuus vaihtelee 4,5–5,0% (Tamime ja Robinson 2007b). Sen pitäisi kuitenkin olla 5,5–6,0% että jogurttiin saataisiin optimaalinen rakenne (Özer 2010).

#### rasvapitoisuus

Elintarvikealan kansainvälisen standardin (Codex 2011) mukaan jogurtin rasvapitoisuus saa olla enintään 15%. Jogurttien luokitteluun voidaan käyttää rasvapitoisuuden mukaista luokittelua: normaalirasvainen (>3%), vähärasvainen (>0,5%–<3,0%) ja rasvaton (<0,5%). Maito ja Terveys ry:n (2007) mukaan jogurtin rasvapitoisuus on tavallisesti 2–3,4%. Jogurtin rasvapitoisuuden vaihteluväli on nykyään laaja 0–10%, tyypillisin on 0,5–3,5% (Tetra Pak 2003). Shakerin ym. (2000) tutkimuksen mukaan jogurttimaidon rasvapitoisuuden nostaminen nolasta kolmeen prosenttiin, nosti jogurtin viskositeettiä 50%. Lisäksi homogenointi nosti

jogurtin viskositeettiä ja kiinteyttä (Sodini ja Tong 2006). Jogurtin valmistukseen soveltuva maito saa sisältää vapaita rasvahappoja korkeintaan 1mmol/100g (Bottazzi ja Morelli 2006). Vapaat rasvahapot syntyvät maidon lipaasi-entsyymien aiheuttaman rasvan hajoamisen (lipolyysi) seurauksena. Lipolyysi aiheuttaa maitoon virhemakua. Loppujen lopuksi hyvälaatuisesta raaka-aineesta valmistettu lopputuotekin on hyvälaatuinen.

#### kuiva-ainepitoisuus

Jogurtin rakenteen tyypillinen ominaisuus tiivis geelirakenne, joka estää heran erottumista. Tiivisgeeli saadaan aikaan kun nostetaan jogurttimaidon kokonaiskuiva-ainepitoisuutta (%) (Tetra Pak 2003). Gastaldin ym. 1997; Pennan ym. 2006 tutkimuksien mukaan jogurttimaidon korkea kokonaiskuiva-ainepitoisuus nosti jogurtin viskositeettiä ja tiivisti rakennetta. Gastaldi ym. (1997) tutkivat kuiva-ainepitoisuuden vaikutusta jogurtin geelin jäykkyyteen. Kun jogurttimaidon kuiva-ainepitoisuutta nostettiin 10%:sta 15%:iin, geelin jäykkyys kasvoi noin 20%. Hyvälaatuisen jogurtin kuiva-ainepitoisuus on 16–18% (Tamime ja Robinson 2007b). Kuiva-ainepitoisuutta voidaan nostaa helposti kun jogurttimaitoon lisätään maitojauhetta, mutta toisaalta liian iso maitojauhelisäys voi tehdä jogurtin rakenteen hiutaleiseksi tai paakkuseksi. Jogurtin tyypillinen rasvattoman osan kuiva-aineen pitoisuus on 8,5–9,0% (Tamime ja Robinson 1999; Özer 2010). Jogurtin yksi olennaisimmista laatutekijöistä on kansainvälisen Codex-standardin mukaan rasvattoman kuiva-aineen minimipitoisuus. Sen on oltava vähintään 8,2%.

#### laktoosi

Laktoosi on hapatebakteerien energianlähde (Tamime ja Robinson 1999). Valittujen hapatebakteerien pitää muodostaa laktoosista riittävästi maitohappoa, että jogurttimassa saadaan tiiviiksi. Hapatebakteerien muodostamat eksopolysakkaridit (EPS) parantavat jogurtin reologisia ominaisuuksia. Jogurtin geelirakenteesta muodostuu viskoosimpi, tiiviimpi ja heran erottuminen vähenee (Gürakan ja Altay 2010).

#### bakteriofagit

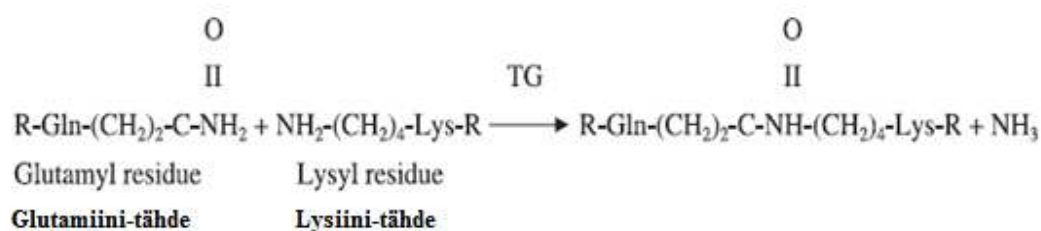
Bakteriofagit ovat viruksia, jotka tuhoavat bakteerisoluja. Kun maitohappobakteerien geneettiset puolustusmekanismit tuhoutuvat, maitohappobakteerien kasvu ja metabolia estyy (Vedamuthu 2006; Özer 2010). Näitä erityistilanteita varten maitohappobakteerien plasmidi

on yksi puolustusmekanismeista, joka on bakteriofagiresistenttinen. (Vedamuthu 2006). Plasmidit ovat kromosomin irrallaan olevia rengasmaisia molekyylejä, jotka koodaavat maitohappobakteerien funktionaalisia ominaisuuksia (Broadbent 2001; Walstra ym. 2006). Maitohappobakteerien kasvun ja metabolian estyminen tarkoittaa esim. sitä että jogurttimassan pH:n aleneminen pysähtyy, jolloin jogurttigeelin muodostuminen kypsymisen aikana on mahdotonta.

## 2.4.2 Valmistusprosessin vaikutus jogurtin rakenteeseen

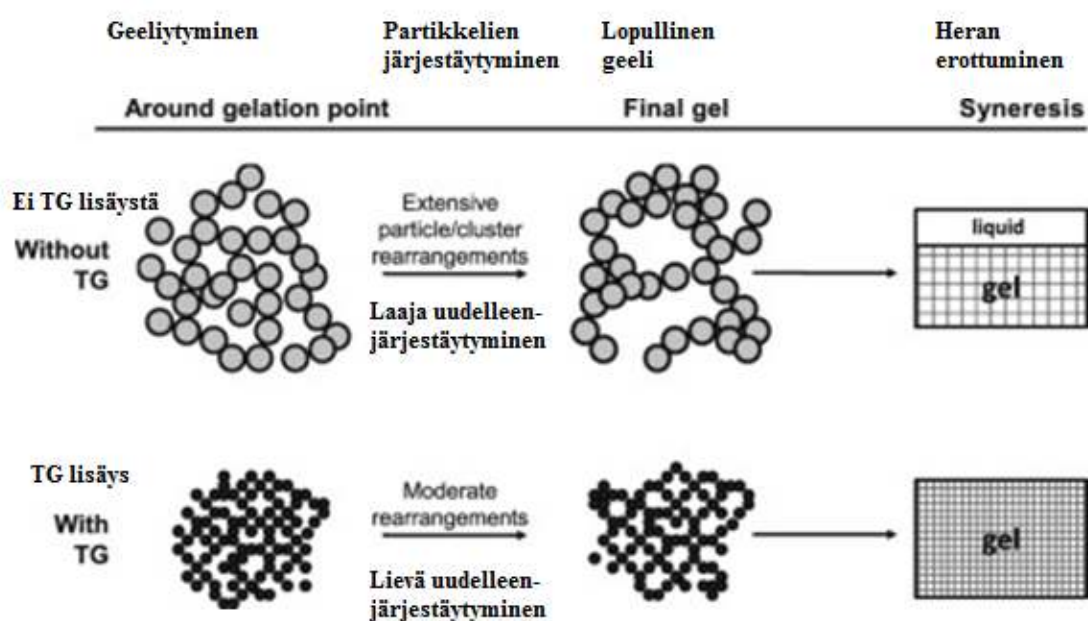
### Geelin muodostuminen kypsymisen aikana

Erilaiset stabilointiaineet parantavat sekoitejogurtin rakennetta. Stabilointiaineet vahvistavat jogurttimassan geelirakennetta, valmiin jogurtin viskositeettiä ja vähentävät heran erottumista jogurtista. Stabilointiaineet vähentävät myös jogurtin valmistuserien välistä vaihtelua (Lee ja Lucey 2010). Stabilointiaineet pitää lisätä jogurttimaitoon ennen jogurttimassan kypsymisen alkamista (Özer 2010). Stabilointiaineita ovat esimerkiksi gelatiini, pektiini ja tärkkelys. Stabilointiaineet parantavat jogurtin rakennetta (Jaros ym. 2007). Stabilointiaine tekee ristisilloja kypsyttämisen aikana jogurttimaitoon. Stabilointiaine toisin sanoen katalysoi kovalenttisten sidosten muodostumista maidon kaseiiniproteiinien glutamiini- ja lysiini-aminohappotähteisiin. Reaktion lopputuloksena esim. beta-kaseiiniproteiiniyksiköihin muodostuu proteiiniyksiköiden sisäisiä ja proteiiniyksiköiden välisiä ristisiltaliittymiä (kuva9).



**Kuva 9.** Stabilointiaineen katalysoima glutamiini- ja lysiini-aminohappotähteiden muodostama ristisilloittava-reaktio (Özrenk 2006).

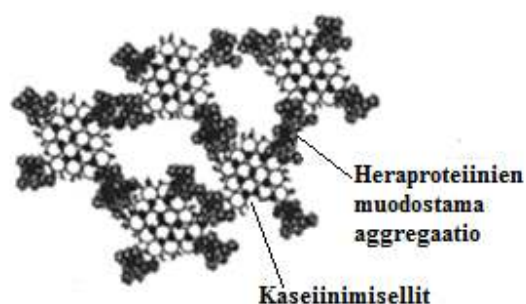
Tuloksena kaseiinimisellit stabiloituvat ja rakenteen hajoaminen estyy vaikka kolloidinen kalsiumfosfaatti (CCP) dissosioituu kaseiinimisellin rakenteesta (Ercili-Cura ym. 2013). Stabilointiaineen toimintaa voidaan tehostaa kun maidon proteiinien muokkaamiseen käytetään erilaisia lämpö- ja painekäsittelyjä sekä säädetään kypsymisen pH-arvoa (Jaros ym. 2007). Stabilointiaineen vaikutuksesta jogurtin rakenne on pienihuokoisempi ja verkkomaisempi. Runsaasti pintaa sisältävät pienet silmukkahuokokset pidättävät heraa paremmin kuin suurihuokoinen geelirakenne ilman stabilointiaine-lisäystä (kuva 10).



**Kuva 10.** Stabilointiaineen vaikutus geelin muodostumiseen ja heran erottumiseen eli synereesiin (Ercili-Cura ym. 2013).

Kypsymisen aikana jogurttimassan pH laskee, mikä edesauttaa kolloidisen kalsiumfosfaatin (CCP) dissosioitumista kaseiinimisellistä (Özer 2010). Kaseiinimisellien aggregoitumista ehkäisevä ja koossapitävä voima vähenee. Edelleen kaseiinimisellit ja denaturoituneet heraproteiinit liittyvät yhteen eli aggregoituvat muodostaen sulphydryyli (-SH) ryhmien kovalenttisia tai rikki-(-S-S-) sidoksia (Tamime ja Robinson 1999). Tioli-sidokset (-SH) ja rikkisillat (-S-S-) liittävät aggregoituneiden heraproteiinien ( $\alpha$ -La+ $\beta$ -Lg) muodostaman

kokonaisuuden kaseiinimisellien kappa-kaseiineihin (kuva 11) (Gunasekaran ja Solar 2012). Nämä tapahtumat vauhdittavat jogurttimassan geeliytymistä. Geeliytyminen alkaa yleensä kun jogurttimassan pH-arvo on  $\sim 5,2$ . Lopuksi aggregoituneet heraproteiinit ja kaseiinimisellit muodostavat jogurttimassaan geeliverkoston, joka pidättää vettä ja vähentää heran erottumista eli synereesiä (Tamime ja Robinson 1999; Özer 2010). Geeliverkosto koostuu tioli- ja disulfidi sidosten välisistä vuorovaikutuksista (-SH/-SS) sekä ei-kovalenttisista vuorovaikutuksista, jotka ovat esim. hydrofobisia ja elektrostaattisia (vetysidokset) (Özer 2010).



**Kuva 11.** Kaseiinimisellien ja heraproteiinien ( $\alpha$ -La ja  $\beta$ -Lg) muodostama kokonaisuus (Gunasekaran ja Solar 2012).

Haluttu jogurtin rakenne ja ominaisuudet vaativat optimaaliset olosuhteet kypsytyksen eli hapantumisen aikana. Ennen kuin jogurttimassan tavoite pH-arvo on saavutettu, sekoitejogurttimassan annetaan kypsyä sekoittamatta. Jos jogurttimassa sekoitetaan liian aikaisin ennen kuin jogurttimassan tavoite pH-arvo on saavutettu, heikko ja keskeneräinen eikä vielä valmis geelirakenne, hajoaa sekä samalla siitä erottuu heraa (Özer 2010). Toisaalta myös haluttua kypsytyslämpötilaa korkeampi lämpötila ja siitä seuraava nopea pH-arvon aleneminen aiheuttavat heran erottumisen geelistä. (Vasiljevic ja Shah 2008). Kun kypsytyslämpötila on liian alhainen hapatebakteerien maitohapon tuotanto on heikkoa ja jogurtista saattaa tulla venyvää. Mikäli hapatebakteerien aktiivisuus on alhainen, sekin edesauttaa jogurttiin heikon geelirakenteen muodostumista. Hapatebakteerien alhainen maitohapon muodostus voi johtua myös liian pienestä hapatebakteerien lisäyksestä ja alhaisesta korkeapastörintilämpötilasta. Kypsytyksen loppu pH-arvo on kriittinen koska se

vaikuttaa lopullisesti muodostuneen jogurtin rakenteeseen (Özer 2010). Loppu pH-arvon optimi on 4,6, joka on kaseiinin isoelektrinen piste eli varaus on nolla (Lucey 2004, Walstra ym. 2006). Alhainen loppu pH-arvo estää myös patogeenien kasvua, minkä tiedetään nostavan elintarvikkeen turvallisuutta (Yildiz 2010).

Jogurttigeelin tiiviyyteen ja lujuuteen vaikuttaa eniten beta-laktoglobuliinin denaturoituminen. (Tamime ja Robinson 1999; Özer 2010). Kiintein ja lujin jogurttigeeli saadaan kun beta-laktoglobuliinista on denaturoitunut 99%. Alfa-laktalbumiini tarvitsee korkeampaa kuumennuskäsittelyä denaturoitumiseen kuin betalaktoglobuliini. Korkeapastöroinnin lämpötilan vaihtelu on normaalisti 85–95°C riippuen jogurtin tuotantopaikasta. Tetra Pakin (2003) mukaan optimaalisin korkeapastörointilämpötila on ~90°C/5min. Oikein valittu kuumennuskäsittely vaikuttaa siten, että jogurttimassa muodostuu kypsytyksen aikana kiinteäksi ja valmiin jogurtin heran erottuminen eli synereesi on vähäisempää (Kilara 2006). Lämpötila- ja aikayhdistelmä ~90°C/5min, edesauttaa myös alfa-laktalbumiinin liittymistä kaseiinimiselleihin (Özer 2010). Kun suurin osa alfa-laktalbumiinista on myös denaturoitunut, heran erottuminen vähenee (Özer 2010). Denaturoituneiden heraproteiinien ja kappa-kaseiinien vuorovaikutukset stabiloivat jogurtin geeliä jolloin jogurtin rakenteesta tulee tiiviimpi, stabiilimpi, viskositeetti kasvaa ja heran erottuminen vähenee (Tamime ja Robinson 1999; Chandan ja O'Rell 2006; Yildiz 2010). Riittämättömän korkeapastöroinnin seurauksena saadaan rakenteeltaan heikko jogurtti, josta erottuu heraa varastoinnin aikana (Tetra Pak 2003; Tamime ja Robinson 2007b).

### Haihdutus

Jogurtin viskositeetti kasvaa, kun jogurttimaidon kuiva-ainepitoisuuden nostamiseen käytetään haihdutus-prosessia (Tetra Pak 2003; Özer 2010). Jogurttimaidon kuiva-ainepitoisuus nousee 2–4% kun veden haihtumismäärää nostetaan (10–25%) (Tamime ja Robinson 1999). Jogurtin valmistuksen haihdutusprosessin prosessointivaiheet kuten haihdutusvaiheiden määrä, haihdutuslämpötila, haihdutusaika, maidon ja höyryn virtausnopeudet vaikuttavat kuiva-ainepitoisuuteen (Tetra Pak 2003). Lisäksi haihdutus, maitojauhe- tai proteiinilisäys voivat nostaa jogurttimaidon kuiva-ainepitoisuutta jopa 16-18%:ksi (Özer 2010). Näin ollen jogurtin geeli on kiinteämpi, tiiviimpi ja stabiilimpi, jolloin heran erottuminen vähenee ja varastointikestävyys kasvaa. Haihdutusprosessiin liitetty ilmanpoistaja vähentää maidon virheflavoreita ja ehkäisee jogurtin aistittavan laadun heikkenemistä. Ilmanpoisto parantaa

myös jogurtin geelin kestävyyttä, mikä sekin vähentää heran erottumista jogurtista (Gürakan ja Altay 2010). Haihdutuksen lämpötilan vaikutuksesta on haastavaa löytää tieteellistä kirjallisuutta mutta Tetra Pakin (2003) mukaan haihdutuslämpötila on huomioitava valmistusprosessin aikana kuten myös haihdutusaika.

### Homogenointi

Homogenointi on yksi tärkeimmistä jogurtin valmistuksen prosessivaiheista. Homogenointilämpötilan optimi on 55–65°C ja paineen 100–200 bar (Lucey ja Singh 1998a; Sodini ym. 2004). Kun rasvaa sisältävä jogurttimaidon homogenointipaine on  $\leq 250$  bar, jogurttiin saadaan rakenne, joka pidättää heraa. Myös geeli on kiinteimmillään, jolloin jogurtin viskositeetti lisääntyy (Tamime ja Robinson 2007a; Özer 2010). Homogenointi on mahdollista tehdä yksi- tai kaksivaiheisesti. Kaksivaiheinen homogenointi esimerkiksi 100–170 bar/34 bar (Tamime ja Robinson 2007a) tarkoittaa sitä, että homogenoinnin ensimmäinen vaihe pienentää rasvapalloset ja toinen vaihe irrottaa mahdollisesti toisiinsa liittyneet rasvapalloset erilleen (Chandan ja O'Rell 2006).

Ciron ym. (2010) vertasivat rasvattoman ja vähärasvaisen (1,5%) jogurtin ominaisuuksia. Jogurttimaito oli homogenoitu joko perinteisesti (25MPa) tai mikrofluiditekniikkaa (MFT) käyttäen. Mikrofluiditekniikka muodosti raaka-aineesta emulsion, jolloin partikkelit olivat pienempiä kuin perinteistä homogenointitekniikka käyttäen. Cironin ym. (2010) mukaan perinteisesti homogenoidusta rasvattomasta jogurttimaidosta saatiin ominaisuuksiltaan parempaa sekoitettua jogurttia kuin MFT tekniikkaa käyttäen. Kun taas vähärasvaisten (1,5%) jogurttien rakenneominaisuudet olivat samanlaiset riippumatta homogenointitekniikasta.

### Korkeapastörointi

Jogurtin valmistuksen toinen tärkeä vaihe on pastörointi. Jogurttimaidon optimaalinen korkeapastörointilämpötila on 90–95°C ja -aika noin 5min (Tetra Pak 2003). Kyseinen lämpötila/aika yhdistelmä denaturoi heraproteiineja noin 70–80% ( $\beta$ -Lg 99%). Kun löydetään sopiva lämpötila/aika yhdistelmä, voidaan parantaa jogurtin viskositeettia ja muokata rakennetta halutunlaiseksi.

Remeuf ym. (2003) tutkivat jogurtin laatuun vaikuttavia pastörointilämpötila ja -aika yhdistelmiä (taulukko 7). Jogurtin viskositeetti oli puolet korkeampi kun lämpötila/aika

yhdistelmä oli 90/5min verrattuna yhdistelmään 90/1min. Toisaalta jogurtin hiutalemäärä oli myös puolet korkeampi kun lämpötila/aika oli 90/5min. Lisäksi jogurtin vedenpidätyskyky oli 2% yksikköä parempi kun lämpötila/aika yhdistelmä oli 90°C/5min, verrattuna 90°C/1min.

**Taulukko 7.** Lämpötila/aika yhdistelmän vaikutus jogurtin viskositeettiin, hiutalemäärään ja vedenpidätyskykyyn (Remeuf ym. 2003).

<b>Tekijä</b>	<b>90 °C/5 min</b>	<b>90 °C/1 min</b>
Viskositeetti	2 Pas	1 Pas
Hiutalemäärä	10 kpl	5 kpl
Vedenpidätyskyky	91 %	89 %

Luceyn ja Singhin (1998a) ja Sodin ym. (2004) mukaan lämpötila/aika yhdistelmä 95°C/5min parantaa jogurtin viskositeettia, kiinteyttä ja vedenpidätyskykyä. Näin ollen mikäli käytetään kyseistä lämpötila/aika yhdistelmää suurin osa heraproteiineista on denaturoitunut. Kucukcetin (2008) mukaan lämpökäsittely 95°C/256s vähensi heran erottumista 2%-yksikköä verrattuna lämpökäsittelyyn 95°C/80s.

#### Massan sekoittaminen ja jäähditys

Sekoitejogurtin geelirakenne heikkenee, kun jogurttimassaa siirretään prosessivaiheesta toiseen (Tamime ja Robinson 1999). Jogurtin valmistusprosessiin kuuluu useita vaiheita, jotka muokkaavat jogurttimassaa mekaanisesti (Sodini ym. 2004). Säiliön sekoittajat rikkovat jogurttimassaan muodostuneen geelin samanaikaisesti, kun massaa siirretään kypsytys-säiliöstä eteenpäin jatkokäsittelyihin; kypsytys-säiliöstä pakkaussäiliöön ja sieltä edelleen pakkaamisvaiheeseen. Jogurttimassan säiliön sekoitusnopeus on syytä pitää mahdollisimman alhaisena että massa säilyy homogeenisena (Özer 2010). Näin jäähdityslämpö jakautuu tasaisesti massaan jäähdityksen aikana (Jaros ja Rohm 2003). Heran erottuminen jogurtista vähenee, kun jogurttimassan jäähditys suoritetaan hallitusti mahdollisimman nopeasti kypsymisen loputtua (Vasiljevic ja Shah 2008; Özer 2010). Liian nopea jäähditys tekee jogurtin rakenteesta heikon ja siitä erottuu heraa kylmävarastoinnin aikana.

#### Kylmävarasto

Pakkaamisen jälkeen jogurttipurkit jäähdytetään 4–5°C:ksi 12 tunnin aikana (Tamime ja Robinson 2007a). Jogurtin kylmävarastoinnin tehokkuuteen vaikuttavat pakkausmateriaali ja kylmävaraston jäähditystapa (Tamime ja Robinson 2007a). Kylmävaraston



jäähdytyslämpötila on pidettävä mahdollisimman alhaisena ( $<5^{\circ}\text{C}$ ) ja tasaisena, että jogurtti jäähtyy tasaisesti. Jogurttipakkausten liikuttelua on vältettävä, että jogurtin geelirakenne säilyy. Vain ehjä geelirakenne säilyttää jogurtin laadun hyvänä. Niin ikään kylmävaraston ilman kierto on oltava riittävä, varsinkin jos jogurtin pakkauslämpötila on ollut  $\sim 20^{\circ}\text{C}$  (Tamime ja Robinson 1999). Jogurttipurkkeja kylmävarastoidaan vähintään 48 tuntia, jotta jogurtin lopullinen geeli on ehtinyt muodostua eli jogurtin rakenne on palautunut (engl. rebodying) (Tamime ja Robinson 1999). Jogurtin geeliverkosto on "löystynyt", mikä on seurausta jogurtin mekaanisista käsittelyistä. Kun jogurtin geelirakenne palautuu kylmävarastoinnin aikana, jogurtin viskositeetti palautuu. Tästä kylmävarastoinnin aikana tapahtuvasta muutoksesta on haastavaa löytää tutkittua tietoa. Mahdollisesti kypsytyksen aikana muodostuneet eksopolysakkaridit (EPS) vaikuttavat tähän jogurtin rakenteen palautumiseen (Gürakan ja Altay 2010). Lisäksi jogurttiin lisätyt stabilointiaineet parantavat ja lisäävät jogurtin laatua.

## **2.5 Jogurtin laatu**

### **2.5.1 Aistittava laatu**

Jogurtin laatuun vaikuttavat tuotantoprosessin kaikki erivaiheet. Jogurtin laatua mitataan ja arvioidaan. Tuotanto valvoo että jogurtin valmistuksen raaka-aineet, massat ja valmiit tuotteet täyttävät spesifikaatioihin asetetut aistittavat rajat (Lapveteläinen ja Appelbye 2008). Elintarviketeollisuus käyttää aistinvaraista arviointia laaduntarkkailun työvälineenä. Aistittavan laadun tekijät määritellään spesifikaatioon tuotekehityksen ja tuotannon yhteistyönä vain yrityksen sisäiseen käyttöön. Aistinvaraisen arvioinnin tarkoitus on seurata tuotteen ominaisuuksien vaihtelua ja voidaanko tuotteen valmistuserä hyväksyä myyntiin. Tuotteiden arviointiin käytetään yleisesti asteikkoa hyväksytty/hylätty. Tämä on nopea menetelmä ja soveltuu siksi aistinvaraiseen arviointiin. Normaalisti, mikäli tuotteiden epäillään sisältävän jotain huomautettavaa, päätös tuote-erän käyttökelpoisuudesta myyntiin on tehtävä nopeasti.

Jogurtin aistittavia ominaisuuksia voidaan arvioida monin eri menetelmin (Özer ja Kirmaci 2010). Jogurtin ominaisuuksista arvioidaan tyypillisesti aromi, flavori, koostumus, väri,

ulkonäkö ja rakenne. Flavori eli maitto tarkoittaa haju-, maku- ja tuntoaistin kemotunnon (kolmoishermon) muodostamaa yhdistelmää mausta (Tuorila ja Appelby 2008). Jogurtin aistinvaraisten ominaisuudet vaikuttavat kuluttajien tuotteiden hyväksyntään siten että hyväksyvätkö/hylkäävätkö kuluttajat jogurtin kulutuskäyttöön.

Kun tiettyjä jogurtin ominaisuuksia (ulkonäkö ja väri, rakenne, aromi ja flavori) halutaan pisteyttää yhdestä viiteen, voidaan käyttää hedonistista asteikkoa (Özer ja Kirmaci 2010). Pisteet tarkoittavat seuraavia asioita: 1 on heikkolaatuinen, 2 on keskinkertainen, 3 on hyvä, 4 on erittäin hyvä ja 5 on erinomainen.

Ominaisuudet (flavori, ulkonäkö, koostumus ja aromi) voidaan pisteyttää myös nollasta viiteen Bergelin järjestelmän mukaan (Özer ja Kirmaci 2010). Pisteet tarkoittavat: 0 on pilaantunut, 1 on ei tyydyttävä, 2 on ei kovin tyydyttävä ja lisäksi selkeästi havaittavia virheitä, 3 on tyydyttävä ja muutamia virheitä, 4 on hyvä, 5 on erittäin hyvä.

Karl-Ruherin laadun arviointiasteikko pisteyttää ominaisuuksia yhdestä yhdeksään, jotka on luokiteltu tarkemmin: luokka I (ylempi) pisteet 7–9, luokka II (keskitaso) pisteet 4–6, luokka III (alempi) pisteet 1–3 (Özer ja Kirmaci 2010). Luokka I tarkoittaa että jogurtti on myytäväksi kelpaavaa, ei vastaväitteitä. Luokassa II jogurtti voidaan hyväksyä myyntiin ja luokassa III jogurtti on myyntiin kelpaamatonta.

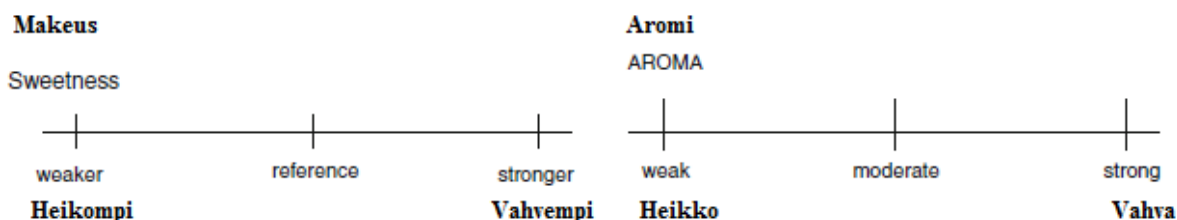
Soukoulisin ym. (2007) mukaan jogurtin aromi voidaan arvioida haistaen ja kuvaillen hajua. Väriä arvioitaessa jogurtin väriä verrataan valkoiseen; onko eroa ja mikä on väri. Miellyttävyys arvioidaan maistaen maku ja maistamisesta suuhun jäävä jälkimaku. Kiinteys arvioidaan geelin kovuutena, kumimaisuutena ym. Tiiviys (konsistenssi) arvioidaan jogurtin viskositeetista manuaalisesti sekoittaen ja suutuntumasta. Flavoriin vaikuttaa jogurtin hapatebakteerien muodostama aromiyhdiste: asetaldehydi. Flavori arvostellaan asetaldehydin voimakkuuden tunnusta välittömästi, kun jogurtti on poistettu kieleltä. Visuaalisesti voidaan arvioida myös heran erottumista eli synereesiä. Jogurtinäytteeseen työnnetään lusikka ja heran erottuminen arvioidaan välittömästi jogurtin pinnalta. Yleensä aistinvaraisesti arvioidaan myös yleinen hyväksyttävyys eli ulkonäön, maun ja flavorin yhteisvaikutelma.

Kun käytetään kuvailevia menetelmiä aistinvaraisen arvioinnin työvälineenä, saadaan erittäin paljon hyödyllistä tietoa kulloinkin arvioitavana olevasta näytteestä (Lawless ja Heymann 2010). Kuvailevia menetelmiä on useita. Menetelmiin kuuluu esim. flavorin ja rakenteen

profiilien arviointi. Arvioitavan tuotteen flavoriprofiilista tehdään etukäteen sanasto, joka kuvaa tuotteen ominaisuuksien vaikutusta havaittuun- ja kokonaisflavoriin (Lawless ja Heymann 2010). Arviointitekniikkaan kuuluu myös tuotteeseen vaikuttavien ominaisuuksien voimakkuuksien arviointi. Tuotteesta havainnoidaan flavorin ja aromin ensivaikutelma, flavorin yleisvaikutelma (kokonaisflavori), suutuntuma ja jälkimaku.

Myös rakenneprofiilin arviointiin tehdään etukäteen sanasto (Lawless ja Heymann 2010). Tuotteen rakenne vaikuttaa erittäin paljon kuluttajien mieltymykseen. Tuotteen pitää sisältää vain sinne kuuluvia komponentteja. Jogurtin rakenteesta voidaan visuaalisesti arvioida esim. viskositeetti (ohut-paksu), elastisuus (plastinen-elastinen), rasvaisuus (ei rasvainen-rasvainen) ja hiutaleisuus. Arvioitavat tekijät voidaan ankkuroida janan molempiin päihin; ohut - paksu. Näistä arvioidaan yleensä myös ominaisuuden intensiteetti: matala - keskinen - korkea.

Yleinen kuvaileva menetelmä on yksinkertainen ja käyttökelpoinen arvioinnin työväline. Yleistä kuvailevaa menetelmää käytetään tuotteen kaikkien ominaisuuksien ja niiden voimakkuuksien arviointiin (Roininen ym. 2008). Kun arvioidaan makua, voidaan käyttää jana menetelmää (kuva 12). Janan molemmat päät ankkuroidaan sanallisesti. Kun arvioidaan makeutta ja aromin voimakkuutta voidaan käyttää sanallisia ankkureita esimerkiksi:



**Kuva 12.** Jana-asteikon ankkurointi (Lawless ja Heymann 2010).

### 2.5.2 Viskositeetti

Reologia on tieteenala, joka tutkii aineen muodonmuutoksia ja virtauksia voiman suhteen (Bourne ja Malcolm 2002). Viskositeetti on nesteen sisäistä kitkaa, mikä vastustaa virtausta eli mitä korkeampi on viskositeetti sitä enemmän neste vastustaa virtausta (Bourne ja Malcolm 2002). Sekoitejogurtit ovat ei-newtonisia, viskoelastisia nesteitä (Jaros ja Rohm 2003). Eli viskoelastinen aine (esim. jogurtti) sisältää kiinteän/viskoosin aineen ja nesteen ominaisuuksia. Tämän vuoksi jogurtin viskositeetti laskee leikkausajan funktiona, mutta muutos on osittain palautuva. Viskoelastisten aineiden virtausominaisuudet riippuvat leikkausnopeudesta ja -ajasta. Lämpötilan nousun on todettu heikentävän viskositeettia. Viskoelastisia aineita voidaan tutkia myös käyttäen aineiden reologisia parametreja kuten varasto- ( $G'$ ) ja hävikkimoduulia ( $G''$ ).

Viskositeetin mittaamiseen käytetään monia eri menetelmiä. Yleisimmin käytetään luotettavia ja standardoituja mittaustekniikoita ja laitteistoja (Tamime ja Robinson 2007a). Viskometrejä käytetään nesteiden virtausominaisuuksien tutkimiseen (Braun ja Rosen 2000). Eräs viskometrien jaottelu on seuraavanlainen: putki/pipetti viskometrit, lautas- ja kartio viskometrit, yksiakselliset (coaxial) yksi tai kaksisylinteriset- tai pyörivät viskometrit, putoavat pallo-, neula- ja sauva viskometrit, nopea- tai hidas leikkausnopeus viskometrit, korkea- tai matala lämpötila viskometrit ja värähtely viskometrit.

Sekoitejogurtin viskositeetin mittaamiseen voidaan käyttää erityistä posthumus-suppiloa (engl. posthumus funnel). Beal ym. (1999) käyttivät menetelmää jogurtin viskositeetin mittaamiseen. Viskositeetti saatiin tuloksena näytteen virtaamisajasta.

Pyörivän viskometrin/reometrin leikkausnopeus pohjautuu näytteeseen asetettuun pyörivään kartioon tai sylinteriin (Rao 1999). Mitä viskoosimpaa näyte on, sitä enemmän sylinterin pyörimiseen tarvitaan energiaa l. suurempaa vääntömomenttia. O'Donnel ja Butler (2002) totesivat, että mitä isompi oli pyörivän reometrin leikkausnopeus, sitä matalampi oli jogurtin viskositeetti.

Renan ym. (2009) käyttivät matala taajuuksista värähtelyreometriä sekoitejogurttigeelin varastomoduulin ( $G'$ ) mittaamiseen vaihdellen mittausparametreja; lämpötila (4-20°C), pH (4,4-5,0), mittausajanhetki ( $t_0$ -12h). Varastomoduuli ( $G'$ ) oli korkeimmillaan kun ajanhetki

oli  $t_0$  4°C ja pH 4,4 tai ajankohdan erotus oli (12h- $t_0$ ) ja pH 4,4. Vaikka mittauslämpötilaa vaihdeltiin, varastomoduulin muutokset pysyivät samankaltaisina.

Värähtelyviskometri mittaa värähtelyantureiden heilahdustaajuutta ja värähtelyyn tarvittavaa energiaa, jonka laite muuttaa kinemaattiseksi viskositeetiksi eli nesteen sisäiseksi kitkaksi (Roberts 2003; Rao 2005). Laite reagoi herkästi esim. jogurtin kokonaiskuiva-aineen pieniinkin muutoksiin. Herkkyyden takia tulokset voidaan helposti toistaa. Mikäli näyte/näytteen pinta sisältää kaasukuplia, ne vaikuttavat erityisen paljon viskositeetin mittaustulokseen. Värähtelyviskometri soveltuu alhaistenkin viskositeettien mittaamiseen.

Pakkauksessa (jogurttipikari) hapatettujen (engl. set type) -jogurttien reologisia ominaisuuksia voidaan mitata, kun jogurttiin on muodostunut geeli (Jaros ja Rohm 2003). Mittauslaitteen mäntä mittaa näytteen geelin kiinteyttä. Männän penetroitumiseen (tunkeutuminen) mitattavaan näytteeseen, vaaditaan tietynopeus ja tiettyaika. Männän penetroitumis-syvyys ja -aika muutetaan geelin kiinteydeksi/lujuudeksi.

### 2.5.3 Hiutaleisuus

Jogurtin rakenne voi olla hiutaleinen tai rakeinen. Syitä hiutaloitumiseen on useita, eikä yleensä vain yhtä vaikuttavaa. Esimerkiksi lisätty maitojauhe on sekoitettu epätäydellisesti, hapatelisäys (%) on ollut liian alhainen, kypsytyslämpötila (°C) on ollut liian korkea tai jogurttimassa on sekoitettu ennen sopivaa jäähdytysajankohtaa (Tamime ja Robinson 1999).

Bhullarin ym. (2002) ja Kücükçetin (2008) mukaan jogurtin hiutaleista rakennetta on mahdollista arvioida käyttäen kuva-analyysiä. Kuva-analyysin hyödyntämiseen on kaksi tapaa tietokoneohjelma tai visuaalinen laskentamenetelmä. Bhullarin ym. (2002) tutkimuksen mukaan erityinen tietokoneohjelma (esim. 6.1 Optimas) laski kuvista hiutaleiden lukumäärän. Kücükçetin (2008) käytti visuaalista tapaa. Jogurttinäytteestä laskettiin hiutalemäärä ja mitattiin hiutaleiden halkaisijat (taulukko 8). Jogurtin prosessointi vaiheet, erityisesti korkeapastörinti ja kypsytykset vaikuttivat jogurtin hiutalemäärään ja hiutaleiden halkaisijoihin. Tutkimuksen mukaan hiutalemäärä väheni kun korkeapastörinti lämpötilaa nostettiin. Puolestaan kun jogurttimassan kypsytyksen loppu pH-arvoa nostettiin, hiutalemäärä väheni. Varastointiajan merkitys oli mitätön jogurtin hiutaleiden määrään ja halkaisijaan.

**Taulukko 8.** Korkeapastöroinnin, jogurttimassan loppu pH-arvon ja varastoinnin vaikutus jogurtin hiutalemäärään (Kücükçetin 2008).

Menetelmä	kpl/halkaisija (mm)
Jogurttimaidon korkeapastörointi (95°C/80s)	37 kpl / 2,1 mm
Jogurttimaidon korkeapastörointi (95°C/256s)	26 kpl / 1,8 mm
Jogurttimaidon korkeapastörointi (110°C/40s)	17 kpl / 1,5 mm
Jogurttimaidon korkeapastörointi (130°C/20s)	7 kpl / 0,9 mm
Jogurttimassan loppu pH (pH 4,8)	14 kpl / 1,2 mm
Jogurttimassan loppu pH (pH 4,4)	19 kpl / 1,4 mm
Jogurtin varastointi (1vrk, 4°C)	16 kpl / 0,6 mm
Jogurtin varastointi (14vrk, 4°C)	17 kpl / 0,6 mm

#### 2.5.4 Heran erottuminen

Synereesi tarkoittaa heran spontaania erottumista kypsytetystä/hapatetusta jogurttigeelistä (Lucey ym. 1998b). Tutkimuksia liittyen heran erottumiseen jogurtista on tehty lukuisia. Kuitenkin ilmiöstä on haasteellista muodostaa selkeä ja yhtenevä kuvaus. Leen ja Luceyn (2004) mukaan hapatemäärää pitäisi nostaa ja kypsytyslämpötilaa laskea, että heran erottuminen vähenisi. Puolestaan jogurtin liian korkea loppu pH saattaa aiheuttaa heran erottumista (Tamime ja Robinson 1999; Renan ym. 2009). Tutkimusten mukaan jogurtin alhainen loppu pH-arvo (esim. pH 4,4) esti heran erottumista ja paransi vedenpidätyskykyä (Renan ym. 2009; Özer 2010).

Heran erottumista voidaan tutkia esimerkiksi visuaalisesti tai käyttäen sentrifugimenetelmää. Yksinkertaisin ja nopein menetelmä arvioida heran erottumista on visuaalinen lusikka-menetelmä. Tutkijat Soukolis ym. (2009) käyttivät tätä menetelmää. Tutkimuksen mukaan näytteeseen työnnettiin lusikka ja tarkkailtiin erottuiko näytteestä heraa.

Sentrifugi-menetelmää käyttäen voidaan tutkia varastoinnin aikaista heran erottumista. Tutkimusten (Keogh ja O’Kennedy 1998; Kücükçetin 2008; ja Ramirez-Santiago ym. 2010) mukaan varastoitua näytettä punnittiin tietty määrä ja sen jälkeen näyte sentrifugoitiin. Sentrifugoinnin jälkeen muodostunut supernatantti punnittiin. Heramäärä ilmoitettiin prosentteina näytteen alkuperäisestä painosta. Keoghin ja O’Kennedyn (1998) mukaan stabilointiaine ja jogurtin rasvapitoisuus vähensivät huomattavasti heran erottumista. Kun jogurtin rasvapitoisuus nostettiin 5%:iin ja käytettiin stabilointiainetta, heran erottuminen oli

vähäistä. Ramirez-Santiago ym. (2010) mittasivat heran erottumista jogurtista vuorokauden ja 14 vuorokauden varastoinnin jälkeen. Heraa oli erottunut vuorokauden varastoinnin jälkeen 17,5% ja 14 päivän jälkeen 23,3%. Mitä pidempi oli varastointiaika, sitä enemmän heraa erottui.

### 3 KOKEELLINEN TUTKIMUS

#### 3.1 Tutkimuksen tausta ja tavoite

Erinomaisen jogurtin perusta on hyvä- ja tasalaatuinen jogurttimaito, jonka kypsytyksen loppu pH arvo on 4,6. Codex Standardin mukaan (2011) jogurtin kypsyttämiseen on suositeltavaa käyttää hapatebakteereita *Streptococcus thermophilus* ja *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Jogurtin valmistuksen prosessivaiheet ovat jogurttimassan kypsyttämisen lisäksi mm. jogurttimaidon koostumuksen optimointiprosessit kuten raakamaidon separointi, rasvapitoisuuden vakiointi, kuiva-aineen haihdutus-vakiointi sekä fysikaaliset prosessit kuten homogenointi, lämpökäsittely, jogurttimassan rikkominen (sekoitus) ja muokkaus, jäähdytys, pakkaaminen sekä kylmävarastointi.

Tämän tutkimuksen jogurttien laatu (Riihimäen ja Oulun meijeri) vaihteli meijerin sisäisesti sekä meijerien välisesti. Tutkimuksen tavoite oli selvittää syitä tutkimuksen jogurttien laatuvaihteluun. Tutkimuksen ensimmäiseen vaiheeseen sisältyi Riihimäen ja Oulun meijereiden jogurttien valmistuksen prosessivaiheista (eräko, separointi, haihdutus, homogenointi, korkeapastörinti, sterilointi, kypsytytys, jäähdytys, pakkaamisen aloituksen odotus) on-line tallennetun mittausdatan kerääminen prosessijärjestelmästä: Simatic PCS7 Siemens ja Metso Automaatio. Tutkimuksen jogurttien valmistuserätiedostojen yhteismäärä oli 62. Näistä jogurttien valmistuseristä (N=62) mitattiin jogurttimaidon koostumus (proteiini-, rasva-, laktoosi- ja kuiva-ainepitoisuus), valmiin jogurtin viskositeetti (tuoreena 27h ja parasta ennen päivänä), hiutale- ja heramäärät (parasta ennen päivänä). Prosessivaiheista mitattujen muuttujien arvot suhteutettiin jogurtin rakenneominaisuuksiin (kypsytyksen loppu pH-arvo, viskositeetti, hiutale- ja heramäärä). Tuloksista määritettiin jogurtin rakenneominaisuuksien Pearsonin korrelaatiokertoimet (r), tilastolliset merkitsevyydet eli p-arvot ( $\leq 0,05$ ) ja jogurtin

rakenneominaisuuksien alustavat tuotantoa ohjaavat yhteiset spesifikaatorajat. Tutkimuksen toinen vaihe täydensi ensimmäistä vaihetta siten, että tutkimuksen jogurttien (Riihimäen meijeri) proteiinipitoisuutta alennettiin ja stabilointiaineen määrää lisättiin. Lopuksi toisen vaiheen tuloksista määritettiin valmistettujen jogurttien rakenneominaisuudet (viskositeetti, hiutale- ja heramäärä).

Tutkimuksen kokeellisen osuuden tutkimuspaikat olivat Valio Oy:n Riihimäen ja Oulun meijerit 29.7–27.12.2012 välisenä aikana.

### **3.2 Materiaalit ja menetelmät**

#### **3.2.1 Materiaalit**

Maidonkeräilyautot noutavat tiloilta maidon joka toinen päivä (vain perustellusta syystä tähän periaatteeseen sallitaan poikkeukset). Riihimäen meijerin maidon keräilystä vastasi/vastaa Osuuskunta Tuottajain Maito ja Oulun meijerin maidon keräilystä vastaa Osuuskunta Pohjolan Maito. Maidonkeräilyauton maitotiloilta kerätty raakamaitokuorma (40tn) siirrettiin pumppuja ja putkistoja käyttäen raakamaitosiiloihin (Riihimäki 120tn ja Oulu 100tn). Raakamaidon siilovarastointiaika oli korkeintaan 24h, kunnes raakamaito siirrettiin tuotantoprosessiin. Siilosta raakamaito siirrettiin ensin separointiin. Separointi erotti raakamaidon kermaksi ja kuorituksi maidoksi ("kurri"). Jogurttimaidon vitaminointiin käytettiin nestemäistä D3-vitamiinia (Kemikalia AB, Ruotsi), joka annosteltiin automaattisesti maitovirtaan ennen homogenointia. Jogurttien kypsytykseen käytettiin Daniscon (Ranska) sekahapatteita. Jogurttihapatteet säilytettiin  $\leq -40^{\circ}\text{C}$ .

Lisäksi Riihimäen meijerin jogurtin valmistuksen apuaineena käytettiin stabilointiainetta (Ajinomoto, Japani). Stabilointiaine oli nestemäistä (5kg), jonka päivittäinen säilytyslämpötila oli  $6^{\circ}\text{C}$  ja varastointilämpötila  $-20^{\circ}\text{C}$ . Stabilointiaine toimitettiin Riihimäen meijeriin Valio Oy:n hapatetuotannosta (Valio Oy, Uudistuminen T&K, 00039 VALIO). Oulun meijerin valmistama jogurtti oli vähälaktoosista (HYLA) ja Riihimäen meijerin valmistama jogurtti oli valmistettu käyttäen pitkävaikutteista hydrolyysimenetelmää.

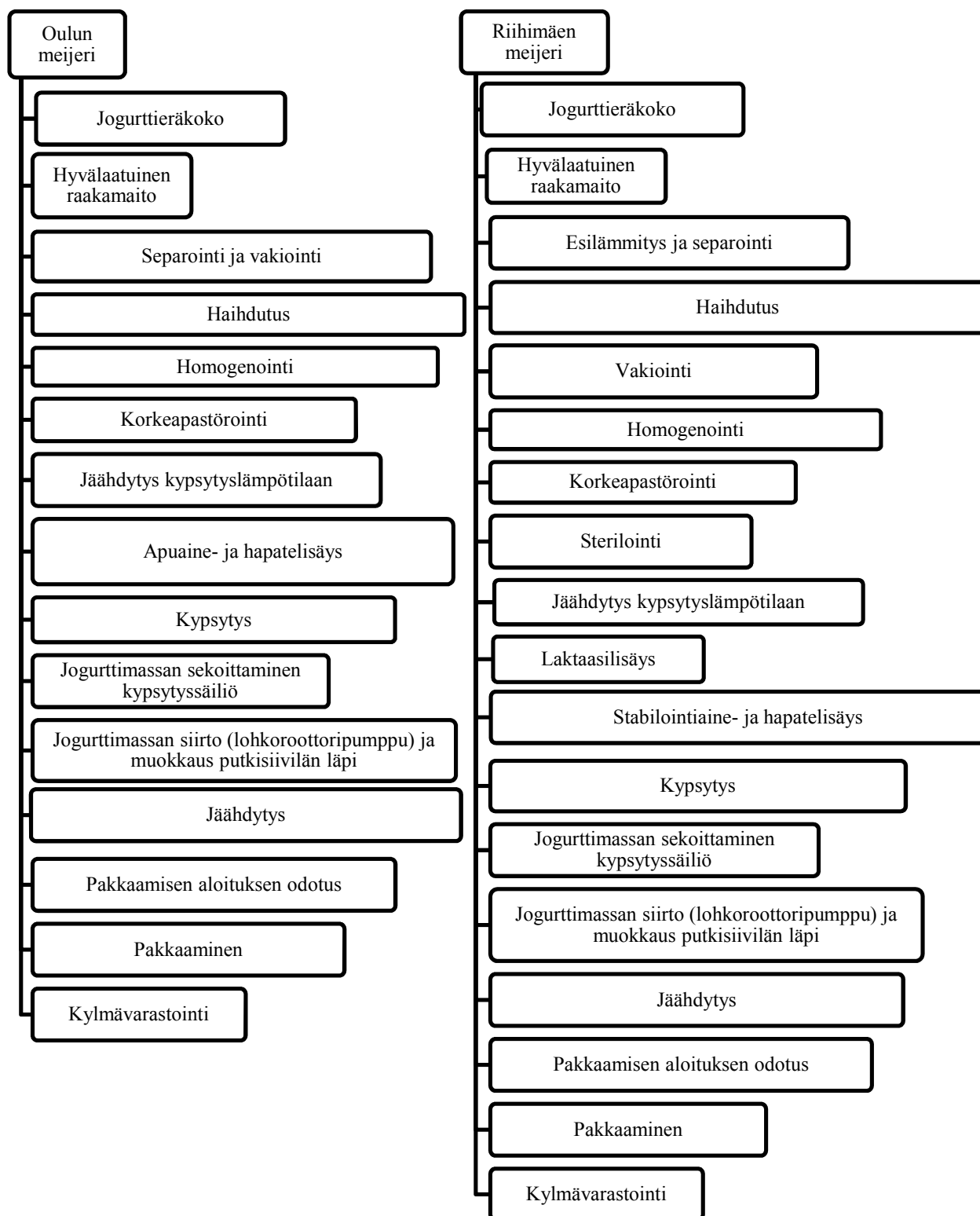
Seuraava prosessivaihe oli kypsytetyn jogurttimassan ja muokatun jogurtin pakkaaminen. Pakkauskoneen henkilökunta arvioi jogurtin laadun aistinvaraisesti ennen pakkaamisen



aloittamista. Arvioitavat aistinvaraiset ominaisuudet olivat (haju/maku) pisteet 1-5 (1–2 hylätään ja 3–5 saa pakata ja siirtää varastoon). Riihimäen meijeri pakkasi jogurtit Elopak Oy:n nestepakkausaihioidiin ja Oulun meijeri Tetra Pak Oy:n nestepakkausaihioidiin (1kg). Yksittäiset jogurttikartonkipakkaukset jälkipakattiin edelleen erityisiin kuljetuspakkauksiin, jotka automaattinen robottilinjasto kuljetti kylmään automaattivarastoon eli robottivarastoon (6°C). Jogurttien pakkaamisen jälkeisenä aamuna kaksi koulutettua henkilöä meijereiden laboratorioista tekivät jogurttien myyntiin hyväksynnän. Jogurteista arvioitiin aistinvaraisesti haju/maku, rakenne ja ulkonäkö pistein 1-5. Jogurtit hyväksyttiin myyntiin kun jogurttien aistinvarainen arvio noudatti tuotespesifikaatiota.

### **3.2.2 Valmistusmenetelmät**

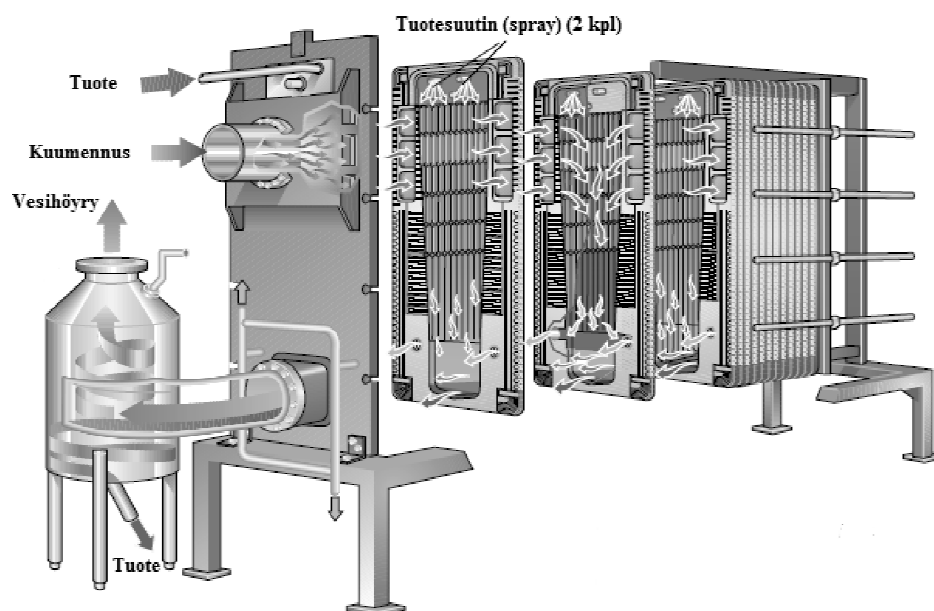
Oulun ja Riihimäen meijereiden jogurtin valmistuksen prosessivaiheet (kuva 13). Jogurttien eräkkö vaihteli ~44%.



**Kuva 13.** Valio Oy Oulun ja Riihimäen meijereiden jogurtin valmistuksen prosessivaiheet.

### Jogurtin valmistusprosessi (Riihimäen meijeri)

Raakamaito separoitiin kuorituksi maidoksi ja kermaksi (Alfa-Laval AB, Ruotsi, 2006). Sen jälkeen raaka-aineesta haihdutettiin vettä. Haihdutuslaite oli tyypiltään yhdistetty levy- ja putkiahdutin (APV Tanska, 2001) (kuva 14). Haihdutusvaiheita oli kaksi. Haihdutuksen prosessointi oli jatkuva "falling film"-periaate, johon kuuluivat haihdutuksen alipaine ja alhainen lämpötila (kuva 14). Jogurtin raaka-aine valui alaspäin levyjä pitkin ja kuumentamiseen käytettiin höyryä. Alipainekammio haihdutti raaka-aineesta vesihöyryn ja kaasut.



**Kuva 14.** Levyhaihdutin (Tetra Pak 2003).

Kerman, kuoritun maidon ja haihdutetun kuoritun maidon tuotevirrat yhdistettiin ja jogurttimaito vakioitiin haluttuun rasvaprosenttiin (2,5%). Tämän jälkeen jogurttimaito homogenoitiin kaksivaiheisesti (APV Homogenisers Invensys, Tanska, 2006). Sen jälkeen jogurttimaito korkeapastöroitiin (APV Tanska, 2001). Lisäksi korkeapastöroinnin jälkeen jogurttimaito steriloidtiin. Seuraavaksi tuotevirtaan annosteltiin laktoosia pilkkova apuaine. Kypsytyssäiliöön annosteltiin stabilointiainetta sekä jogurttihapatebakteerit. Jogurttimaidon kypsytykseen käytettiin erityistä kypsytyssäiliötä. Jogurtin valmistuserää kypsytettiin niin kauan kunnes tavoite pH-arvo oli saavutettu.

Tämän jälkeen jogurttimassan rakenne rikottiin sekoittaen. Jogurttimassa siirrettiin jäähdätyksen kautta pakkaussäiliöön käyttäen lohkoroottoripumppua. Jogurtin valmistuserän pakkaamisen aloituksen odotusaika vaihteli merkitsevästi. Jogurttien pakkauskone oli Shikoku (Shikoku Kakoki co. ltd., Japani, 2008, maahantuoja Elopak).

### Jogurtin valmistusprosessi (Oulun meijeri)

Jogurtin valmistuksen aluksi raakamaito separoitiin kuorituksi maidoksi ja kermaksi (Tetra Pak Tetra Centri, Ruotsi, 2003). Kuorittu maito ja kerma vakioitiin säädettyyn rasvapitoisuuteen (2,5%) jatkuvatoimisesti käyttäen laitteistoa APV CompoMaster KCC (Tanska, 2003). Laitteistoon oli yhdistettynä separaattori. Tämän jälkeen kuiva-ainepitoisuus säädettiin tavoitetasoon (12,5%) ja maidosta poistettiin ilmaa. Haihduttaminen (APV VFN E-VAP, Tanska, 2003) tiivisti jogurttimaitoa. Jogurttimaito homogenoitiin kaksivaiheisesti (APV Rannie, Tanska, 2003) ja korkeapastöroitiin (APV Tanska, 2003). Kypsytyssäiliöön lisättiin laktoosia pilkkova apuaine ja jogurttihapatebakteerit. Jogurttimaitoa kypsytettiin niin kauan, kunnes tavoite pH-arvo oli saavutettu. Valmis jogurttimassa sekoitettiin ja siirrettiin lohkoroottoripumppua käyttäen jäähdätykseen. Jäähdytynyt massa siirrettiin edelleen pakkaussäiliöön. Jogurttimassan pakkaamisen aloituksen odotusaika vaihteli. Jogurtin pakkauskoneet olivat Tetrapakin Tetra Rexejä (Malli TR/28 XH; PK03/04 USA, 2008 ja PK05/06 Ruotsi, 2011).

### **3.2.3 Analyysimenetelmät**

Raakamaitojen ja jogurttimaitojen koostumuksen (rasva-, proteiini-, laktoosi- ja kuiva-ainepitoisuus) analysoitiin käytettiin maitotuotteiden koostumusanalyysiaattoria (MilcoScan FT120, Tanska) (kuva 15). Koostumus määritettiin kypsytyssäiliöstä otetusta jogurttimaitonäytteestä ennen hapatelisäystä. Jogurttimaitonäytteen ottamiseen käytettiin kauhaa. Jogurttimaitonäyte siirrettiin steriiliin näytetölkkiin (120 ml, Servant®, Konstrumed Oy). Koostumusanalyysiaattorin spesifiset mittauskanavat analysoivat raaka-aineen. Jogurttimaidon analysoitiin käytettiin kalibroitua maitokanavaa.

Meijereiden kalibrointimaitojen analysointituloksia verrattiin Seinäjoen aluelaboratoriosta tulleisiin kalibrointimaitojen referenssituloksiin. Meijereiden analysoimat kalibrointimaitojen

analysointitulokset saivat poiketa referenssiarvoista korkeintaan 0,1%. Analysaattoria käytettiin esimerkiksi proteiinipitoisuuden mittaamiseen. Raaka-aineen proteiinipitoisuuden yläraja/maksimiarvo voi olla 7%.



**Kuva 15.** Maitotuotteiden koostumusanalysaattori (MilcoScan FT 120).

Jakeluauto toimitti Oulun meijerin tutkimuksen jogurttinäytteet analysoitavaksi Riihimäen meijeriin jogurtin valmistuksesta seuraavana päivänä. Tutkimuksen jogurttinäytteistä analysoitiin hiutalemäärä (kpl/g), heramäärä (ml/kg) parasta ennen (PE) -päivänä ja viskositeetti parasta ennen (PE) -päivänä.

Jogurttimassan pH:n laskua spesifikaation mukaiseen tavoitearvoon kypsymisen aikana seurattiin pH-mittaria käyttäen (WTW InoLab pH 720, Saksa). Jogurttimassan pH mitattiin ensimmäisen kerran kun jogurttimassa oli saavuttanut lähelle tavoitearvon ja mittausta tihennettiin kunnes tavoite arvo oli saavutettu.

### ***Aistinvarainen arviointi***

Valmistuseräkohtaisen pakkaamisluvan (saa pakata) tekivät pakkauskoneen käyttäjät (vähintään 2 henkilöä) ennen pakkaamisen aloittamista. Aistinvaraisesti arvosteltavat ominaisuudet olivat: haju/maku ja rakenne. Tutkimuksen jogurttien myyntiin hyväksyntä (koulutetut henkilöt vähint. 2) tehtiin pakkaamisesta seuraavan vuorokauden aamun tai

iltapäivän aikana jogurtin pakkaamisen ajankohdasta riippuen. Aistinvaraisesti arvosteltavat ominaisuudet olivat haju/maku, rakenne ja ulkonäkö, asteikko 0–5 (0=ei kelpaa ihmisravinnoksi; hylky, 1=erittäin selviä poikkeamia spesifikaatiosta; ei myyntiin, 2=selviä poikkeamia spesifikaatiosta; ei myyntiin, 3=lieviä poikkeamia spesifikaatiosta; laatuvirhe nimettävä ja myyntiin huomautuksin, 4=erittäin lieviä poikkeamia spesifikaatiosta; myyntiin, 5=yhdenmukainen spesifikaation kanssa; myyntiin. Lisäksi jogurttinäytteet arvioitiin aistinvaraisesti parasta ennen (PE) päivänä. Arvosteltavat ominaisuudet olivat haju/maku, rakenne ja ulkonäkö, asteikko 1–5.

#### ***Pakatun jogurtin viskositeetin mittaaminen***

Jogurttinäytteiden säilytykseen käytettiin lämpökaappia. Jogurttinäytteiden viskositeetin mittausajanhetki oli 27h (todettiin parhaaksi mittausajankohdaksi, jonka jälkeen massan viskositeetti pakkaamisen jälkeen ei enää muuttunut) ja mittausväline oli SV-10 värähtelyviskometri (A&D Company Ltd., Japani) (kuva 16). Mittaamista varten jogurttipurkki asetettiin erilliseen koteloon, joka piti jogurttipurkin paikoillaan mittauksen ajan. Näytteitä ei sekoitettu ennen mittausta ja näytteiden viskositeetti mitattiin suoraan purkista. Parasta ennen (PE) päivän mittausta varten näytteet kuitenkin sekoitettiin, koska jogurtin pintaan oli saattanut erottua heraa. Sekoitin oli erityinen sauvasekoitin 1. sondi. Sondia nostettiin ja laskettiin 10 kertaa käyttäen tasaista nopeutta välttämällä ilmaa sekoittumasta massaan. Värähtelyviskometri SV-10 mittasi näytteen viskositeettia minuutin ajan viiden sekunnin välein. Viskositeettitulos ja näytteen lämpötila tallentuivat laitteen tietokoneohjelmaan (RsVisco Ver1.11, A&D Company Ltd., Japani). Mittauslaitteen värähtelyantureiden (2 kpl) värähtelyperiaate oli vaaka-akseli ja värähtelytaajuus 30Hz. Viskositeetti ilmoitettiin suureena X mPas ja lämpötilan yksikkö oli celsiusaste (°C). Viskositeetti oli kuuden näytteen tulosten keskiarvo.



**Kuva 16.** Viskositeettimittaukseen kuuluva välineet: Värähtelyviskometri SV-10 (Vibro Viscometer, A&D Company Limited) ja RsVisco (WinCT Viscosity, A&D Company Limited).

### ***Hiutalemäärän laskeminen***

Jogurttien rakenteen homogeenisuus määritettiin käyttäen visuaalista menetelmää. Menetelmä perustui hiutalemäärän (kpl/g) laskentaan. Hiutaleiden määrittämismenetelmän oli kehittänyt Lappalainen (2008) opinnäytetyössään. Näytettä punnittiin 1g (vaaka: Mettler Toledo PB3002, Sveitsi). Näyte asetettiin piirtoheitinkalvojen väliin ja siloteltiin tasaiseksi kerrokseksi. Näytteen sisältämä hiutalemäärä laskettiin visuaalisesti mustaa A4-arkkia vasten. Hiutalemäärä ilmoitettiin kpl/g. Tulos oli kolmen näytteen tulosten keskiarvo.

### ***Heramäärän mittaaminen***

Jogurttinäytteen heramäärä mitattiin jogurttipakkauksesta parasta ennen (PE) -päivänä. Jogurttinäytteen näytteestä erottunut hera kaadettiin läpinäkyvään mittalasiin. Heramäärä saatiin mittalasin mitta-asteikolta ja ilmoitettiin millilitroina (ml/kg). Heramäärä mitattiin kolmesta rinnakkaisesta näytteestä. Tulos oli kolmen näytteen tulosten keskiarvo.

### ***Prosessitietojen käsittely***

Riihimäen ja Oulun meijereiden prosessimuuttujadata, jogurttimaidon koostumus- ja jogurtin rakenneominaisuuksien datan käsittelyyn käytettiin taulukkolaskentaohjelmaa (MS Office Excel 2007). Prosessimuuttujadatan lämpötiloista, paineista ja virtausnopeuksista laskettiin minimi- ja maksimiarvot, keskihajonnat sekä keskiarvot jokaisesta jogurtin valmistuserästä (N=62) valmistusprosessin ajalta.

Riihimäen prosessimuuttujista separoinnin minimi- ja maksimi syöttövirtausnopeudet (l/h) (syöttövirtausnopeuksien huiput) tutkittiin erikseen suoraan tietokoneen näytön trendikuvasta jogurttien valmistuserien (n=x) valmistusprosessin ajalta. Separoinnin minimi- ja maksimi syöttövirtausnopeuksista (l/h) laskettiin keskiarvot ja niistä edelleen erotus.



### 3.2.4 Koesuunnitelmat

Riihimäen ja Oulun meijereiden jogurttien valmistusprosesseista kerättiin valmistusprosessidataa (taulukko 9). Pakatuista jogurteista mitatut muuttujat (taulukko 10).

**Taulukko 9.** Riihimäen ja Oulun meijereiden jogurttien valmistusprosessidata.

Valmistusprosessidata	Riihimäki	Oulu
Eräkoko, batch (l)	x	
Eräkoko, näyttö (l)	x	x
Haihdutus vaihe 1, lämpötila (°C)	x	x
Haihdutus vaihe 1, virtausnopeus (kg/h, l/h)	x	x
Haihdutus vaihe 2, lämpötila (°C)	x	
Haihdutus vaihe 2, virtausnopeus (l/h)	x	
Haihdutuksen virtausnopeus, jatkuva (l/h)		x
Haihdutus suhde, ratio (batch)	x	
Haihdutusprosentti, kuorittumaito (%)	x	
Korkeapastörinti, lämpötila (°C)	x	x
Korkeapastörinti, virtausnopeus (kg/h, l/h)	x	x
Sterilointi 1, lämpötila (°C)	x	
Sterilointi 2, lämpötila (°C)	x	
Valmistuksen kesto (min)	x	x
Apuaine-lisäys (ml)	x	x
Stabilointiaine-lisäys (ml)	x	
Hapatelisäys (g)	x	x
Kypsytyslämpötila (°C)	x	x
Kypsytyssäiliö (nro)	x	
Kypsytyksen kesto (min)	x	x
Jäähdytyslinja (nro)		x
Jäähdytyslämpötila (°C)	x	x
Jäähdytyksen virtausnopeus (kg/h, l/h)	x	x
Jäähdytyksen kesto (min)	x	x
Lohkoroottoripumpun virtausnopeus näytteenottohetkellä (l/h)		x
Pakkaussäiliö (nro)	x	
Pakkaamisen aloituksen odotus (min)	x	x
Pakkauskone (nro)	x	x

**Taulukko 10.** Riihimäen ja Oulun meijereiden jogurtteihin liittyvät mitatut muuttujat.

<b>Muuttujat</b>	<b>Riihimäki</b>	<b>Oulu</b>
Koostumus (jogurttimaito ennen kypsytystä)	x	x
Loppu pH-arvo (jogurttimassa kypsytyksen loputtua)	x	x
Viskositeetti (mPas) 27 h	x	x
Viskositeetti (mPas) parasta ennen -päivä	x	x
Hiutalemäärä (kpl/g)	x	x
Heramäärä (ml/kg)	x	x
Aistinvarainen arviointi myyntiin hyväksyntä (tuore)	x	x
Aistinvarainen arviointi parasta ennen (PE) -päivä	x	x

### ***Tilastollinen tarkastelu***

Riihimäen ja Oulun meijerin jogurttiprosessista ja jogurteista mitattu ja käsitelty tulosaineiston data syötettiin Minitab® 16.12.2.0 tilasto-ohjelmaan (Minitab® LEAD Technologies, Inc, 2010, USA). Tilasto-ohjelman Correlation-menetelmää käyttäen (Stat-BasicStatistics-Correlation) jogurtin laatuominaisuuksista (viskositeetti, hiutale- ja heramäärä) suhteessa prosessimuuttujiin analysoitiin Pearsonin korrelaatiokertoimet (r) [-1;+1]. Korrelaatiokertoimen tilastollisen merkitsevyyden osoittamiseksi laskettiin tilastollisesti merkitsevät p-arvot (p-arvo  $\leq 0,05$ ).

Riihimäen ja Oulun meijereiden tulosaineiston datasta tutkittiin yksisuuntainen varianssianalyysi käyttäen tilasto-ohjelman One-way ANOVA (Stat-ANOVA-one-way (unstacked)) menetelmää. Menetelmää käyttäen selvitettiin ryhmien (Riihimäen ja Oulun meijereiden jogurtin laatuominaisuudet) keskiarvojen väliset erot ja yhtäläisyydet (liite 1).

Tilasto-ohjelman kyvykkyysanalyysiä (liitteet 2–5) käyttäen määritettiin jogurttien yhteiset spesifikaatorajat. Kyvykkyysanalyysi tarkoittaa, että oli mahdollista selvittää Riihimäen ja Oulun meijereiden prosessien suorituskyyvyt. Ohjelmaan voitiin syöttää ehdotukset jogurtin rakenneominaisuuksien spesifikaatorajoiksi (alempi; Lower spec ja ylempi; Upper spec). Tilasto-ohjelman koostekuvasta varmistettiin halutun rakenneominaisuuden Cpk-arvo (Kyvykkyys Indeksi–Process Capability Index). Mahdollisimman pieni arvo takasi spesifikaatorajojen määrittämisen onnistumisen.

Analysoitavan aineiston oletetaan aina olevan normaalisti jakautunut. Normaalisuus tarkoittaa että aineiston tuloksista voidaan muodostaa Gaussin kellokäyrän muotoinen kaari.

Koostekuvan Normal Capability Plotista tarkistettiin että tutkittavasta aineistosta muodostetut pisteet nousivat lineaarisesti ohjelman muodostamaa viivaa pitkin. Aineiston luottamustaso oli siten 95% eli aineisto oli normaalisti jakautunut.

Tutkimustulosten koostekuvan I Chartista nähdään tutkitulta ajanjaksolta jogurtin yksittäisten rakenneominaisuuksien (viskositeetti, hiutale- ja heramäärä) analysoidut tulokset. Siitä nähdään myös rakenneominaisuuksien ylempi (UCL) ja alempi (LCL) valvontaraja. Ne ovat korkeampia tai alhaisempia kuin spesifikaatorajat. Valvontarajoja hyödynnetään prosessin hallinnan välineenä.

## 4 TULOKSET

### 4.1 Riihimäen ja Oulun meijereiden jogurttien laatu

#### 4.1.1 Jogurttimaidon koostumus ja jogurttimassan loppu pH-arvo

Riihimäen ja Oulun meijereiden tutkimuksen jogurttimaitojen kemiallinen koostumus (taulukko 11). Jogurttiresepti sisältää jogurttimaidon proteiinin ja rasvan tavoitepitoisuudet (%) (rasva: Riihimäen ja Oulun meijeri: 2,5%). Rasvapitoisuus vaihteli 2,32–2,61%. Laktoosipitoisuus vaihteli 4,90–5,38%. Kuiva-ainepitoisuudeksi saatiin 12,38–15,15%.

**Taulukko 11.** Riihimäen ja Oulun meijereiden jogurttimaitojen kemialliset koostumukset. Pitoisuudet (%) ovat keskiarvoja 31 valmistuserästä.

	Rasvapitoisuus (%)	Proteiinipitoisuus (%)	Laktoosipitoisuus (%)	Kuiva-ainepitoisuus (%)
<b>Riihimäki</b>	2,51±0,19	p1	5,22±0,16	13,13±2,02
<b>Oulu</b>	2,50±0,07	P2	5,18±0,28	13,01±0,24

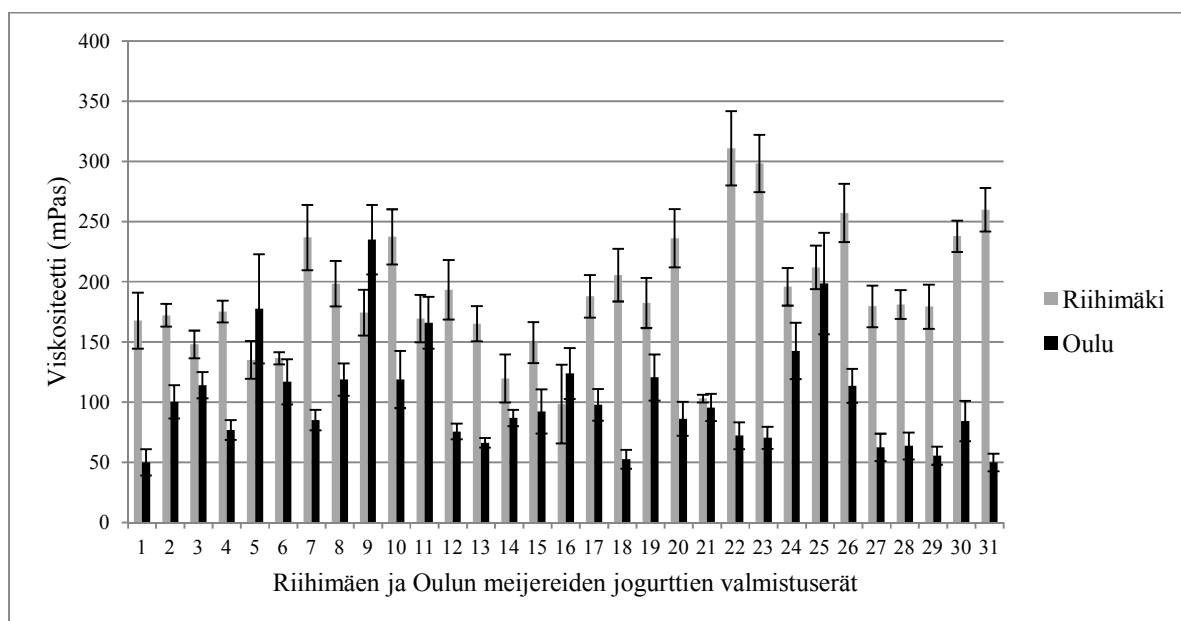
Riihimäen meijeri oli asettanut tutkimuksen jogurttimassan loppu pH-arvoksi 4,60 ja Oulun meijeri 4,50. Loppu pH-arvot vaihtelivat 4,56–4,63 (Riihimäen meijeri) ja 4,41–4,58 (Oulun meijeri) (taulukko 12).

**Taulukko 12.** Riihimäen ja Oulun meijereiden jogurttimassojen (N=62) loppu pH-arvojen keskiarvot.

Meijeri	Loppu pH-arvo
<b>Riihimäki</b>	4,60 ±0,04
<b>Oulu</b>	4,52 ±0,11

#### 4.1.2 Viskositeetti

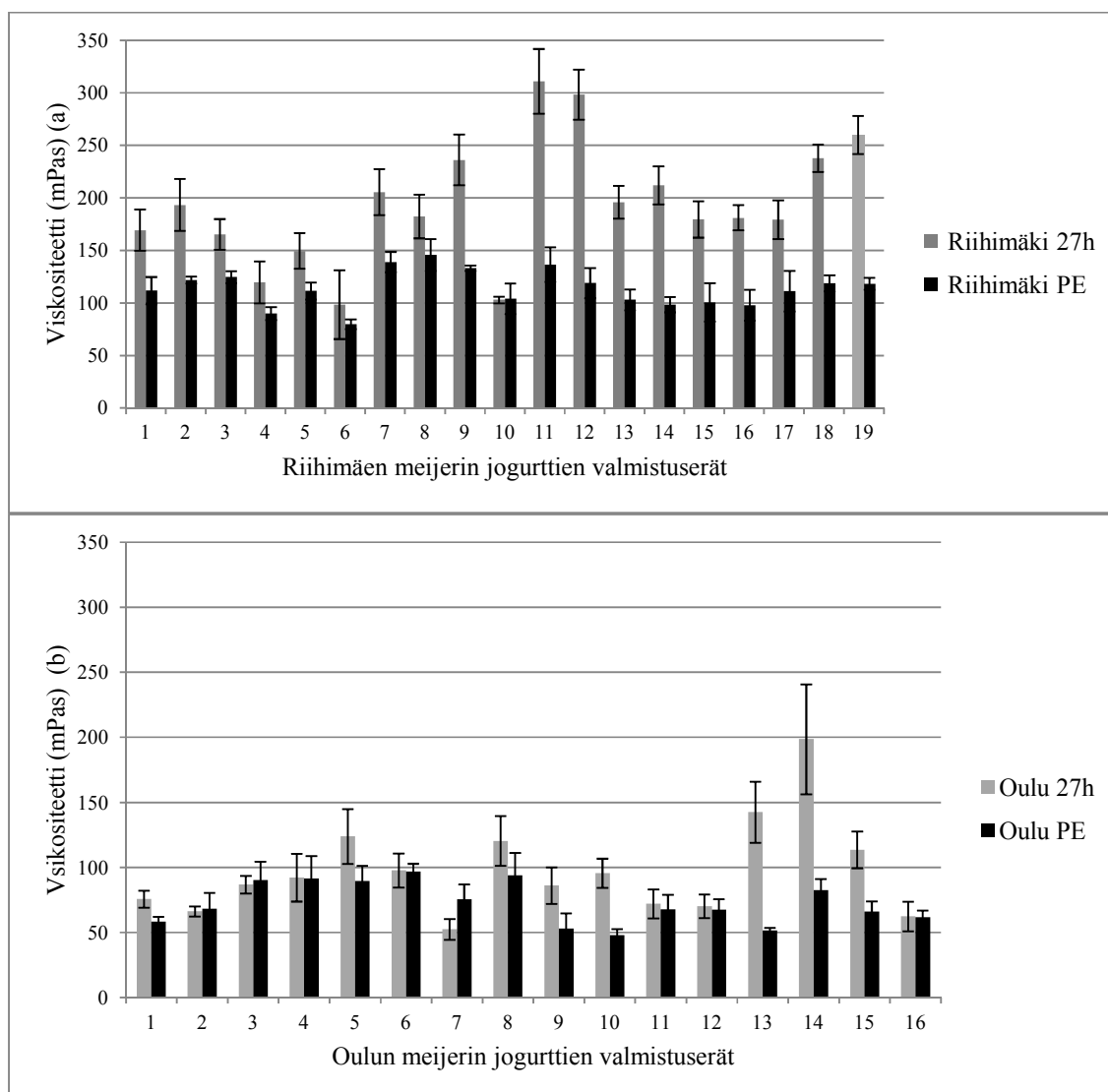
Riihimäen jogurtin 27h viskositeettitulosten keskiarvo oli 190,46 (mPas), vaihteluväli 98,42–310,90 (mPas) (kuva 17). Oulun jogurtinäytteiden 27h viskositeettitulosten keskiarvo oli 102,27 (mPas), vaihteluväli 49,86–235,00 (mPas).



**Kuva 17.** Riihimäen ja Oulun meijereiden valmistuserien tutkimuksen jogurtinäytteiden mitatut viskositeetit (mPas) kun mittausajanhetki oli 27h. Rinnakkaisten näytteiden määrä ajanhetkenä 27h oli N=12 (Riihimäen meijeri n=6 ja Oulun meijeri n=6). Jogurtin valmistuksen erämäärä oli N=62.

Riihimäen meijerin jogurtinäytteiden (N=19) viskositeettitulokset (mPas) mittausajanhetket olivat 27h ja parasta ennen (PE) -päivä (kuva 18a). Jogurtinäytteiden (N=19) viskositeettien keskiarvo (mittausajanhetki 27h) oli 193,55 mPas (vaihteluväli oli 102,93–310,90 mPas). Parasta ennen (PE) -päivän viskositeettien keskiarvo oli 113,9 mPas (vaihteluväli oli 90,06-138,98 mPas).

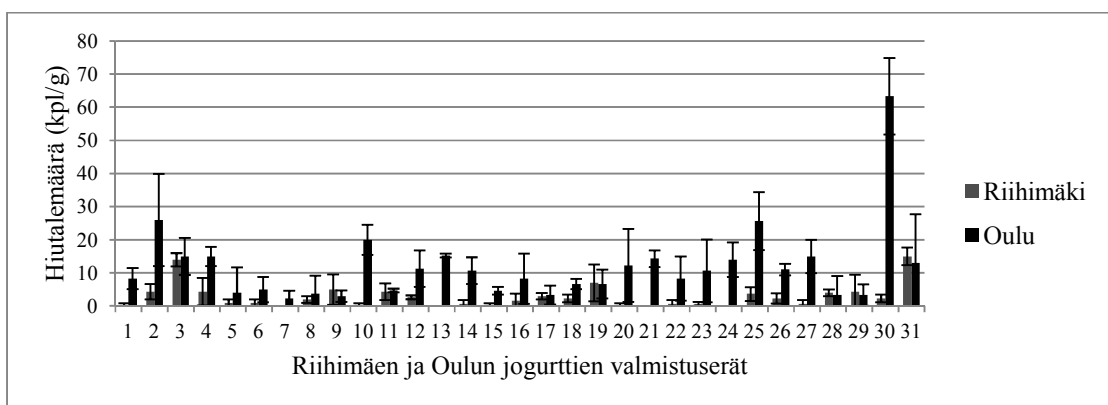
Oulun meijerin jogurtin (N=16) viskositeettitulokset (mPas) mittausajanhetket olivat (27h) ja parasta ennen (PE) -päivä (kuva 18b). Jogurtinäytteiden (N=16) viskositeettien keskiarvo (mittausajanhetki 27h) oli 97,35 mPas (vaihteluväli 52,26–198,60 mPas). Parasta ennen (PE) -päivänä viskositeettien keskiarvo oli 72,69 mPas (vaihteluväli 47,87–94,04 mPas).



**Kuva 18.** Riihimäen (18a) ja Oulun (18b) meijereiden jogurtinäytteiden viskositeetti (mPas) kun mittausajanhetket olivat 27h ja parasta ennen (PE) -päivä. Tuoreviskositeettien (27 h) mittauspaikat olivat Riihimäen ja Oulun meijerit. Riihimäen ja Oulun meijereiden tutkimuksen jogurtinäytteiden parasta ennen (PE) -päivän viskositeettien mittauspaikka oli Riihimäen meijeri. Ajanhetkenä 27h rinnakkaisten näytteiden määrä oli N=12 (Riihimäen meijeri n=6 ja Oulun meijeri n=6). Jogurtin valmistuksen erämäärä oli N=38. Parasta ennen päivänä (PE) rinnakkaisten näytteiden määrä oli N=6 (Riihimäen meijeri n=3 ja Oulun meijeri n=3). Jogurtin valmistuksen erämäärä oli N=32. Näytteiden lämpötila oli 8°C.

#### 4.1.3 Hiutalemäärä

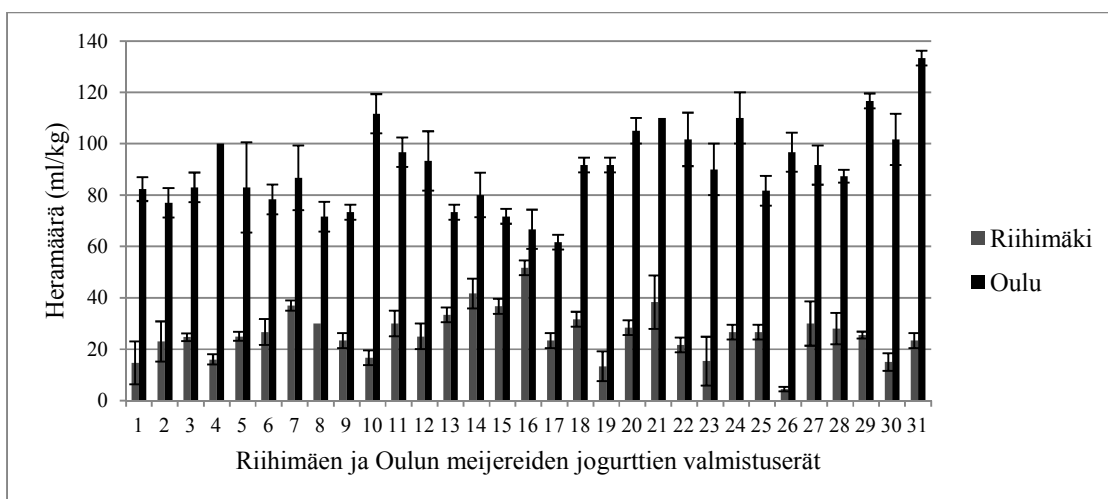
Riihimäen ja Oulun meijereiden jogurtinäytteistä (N=62) mitatut hiutalemäärät (kpl/g) (kuva 19). Riihimäen meijerin jogurtinäytteiden hiutalemäärän keskiarvo oli 2,95 kpl/g (vaihteluväli oli 0–15 kpl/g). Oulun meijerin jogurtinäytteiden hiutalemäärän keskiarvo oli 11,88 kpl/g (vaihteluväli oli 2,31–63,33 kpl/g).



**Kuva 19.** Riihimäen ja Oulun meijereiden jogurtinäytteistä lasketut hiutalemmäärät (kpl/g). Rinnakkaisten näytteiden määrä oli N=6 (Riihimäen meijeri n=3 ja Oulun meijeri n=3). Jogurtin valmistuksen erämäärä oli N=62.

#### 4.1.4 Heramäärä

Riihimäen ja Oulun meijereiden jogurtinäytteiden (N=62) heramäärä (ml/kg) parasta ennen (PE) -päivänä (kuva 20). Riihimäen meijerin jogurtinäytteiden heramäärän keskiarvo oli 26,03 ml/kg (vaihteluväli oli 4,50–51,67 ml/kg). Oulun meijerin jogurtinäytteiden heramäärän keskiarvo oli 90,30 ml/kg (vaihteluväli oli 61,70–133,30 ml/kg).

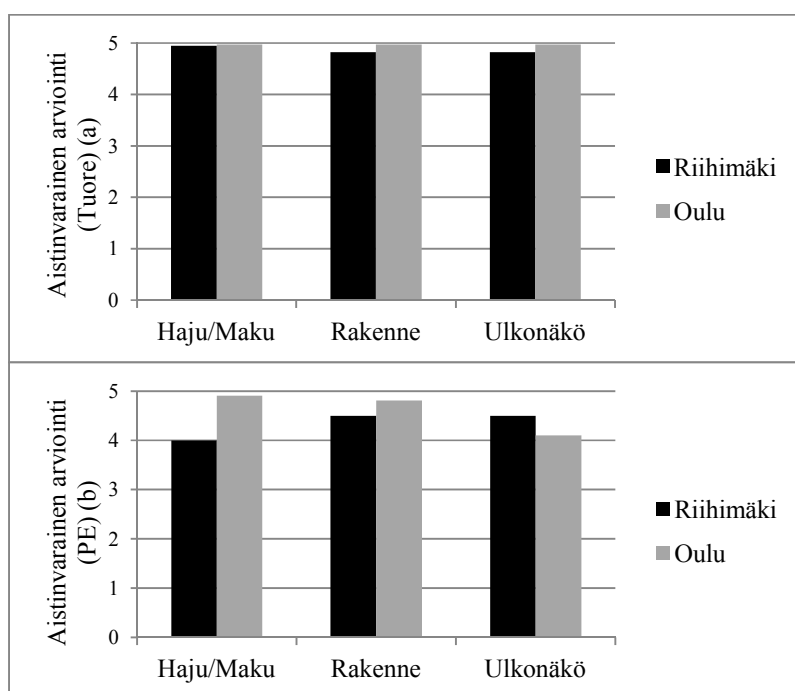


**Kuva 20.** Riihimäen ja Oulun meijereiden jogurtinäytteiden mitatut heramäärät (ml/kg) parasta ennen (PE) -päivänä. Jogurtinäytteiden heramäärien mittauspaikkana oli Riihimäen meijeri. Rinnakkaisten näytteiden määrä oli N=6 (Riihimäen meijeri n=3 ja Oulun meijeri n=3). Jogurtinvalmistuksen erämäärä oli N=62. Näytteiden lämpötila oli 8°C.

#### 4.1.5 Aistinvarainen arviointi

Jogurttinäytteiden aistinvaraisen arvioinnin tulokset (haju/maku, rakenne ja ulkonäkö) Riihimäen ja Oulun meijerin näytteistä tuoreena sekä parasta ennen (PE) -päivänä (kuvat 21a ja b). Riihimäen meijerin aistinvaraisen arvioinnin (tuore) tulosten keskiarvot olivat: haju/maku 4,94 ( $\pm 1$ ), rakenne 4,82 ( $\pm 1$ ) ja ulkonäkö 4,82 ( $\pm 1$ ) pistettä. Oulun aistinvaraisen arvioinnin (tuore) tulosten keskiarvot olivat: haju/maku 4,97 ( $\pm 1$ ), rakenne 4,97 ( $\pm 1$ ) ja ulkonäkö 4,97 ( $\pm 1$ ) pistettä.

Jogurttinäytteiden aistinvaraisen arvioinnin tulokset parasta ennen (PE) -päivänä (kuva 21b). Riihimäen meijerin aistinvaraisen arvioinnin tulosten keskiarvot olivat: haju/maku 4,0 ( $\pm 2$ ), rakenne 4,5 pistettä ( $\pm 1$ ) ja ulkonäkö 4,5 ( $\pm 1$ ) pistettä. Oulun meijerin aistinvaraisen arvioinnin tulosten keskiarvot olivat: haju/maku 4,90 ( $\pm 1$ ), rakenne 4,81 ( $\pm 1$ ) ja ulkonäkö 4,10 ( $\pm 1$ ) pistettä.



**Kuva 21.** Riihimäen ja Oulun meijereiden jogurttinäytteiden aistinvaraisen arvioinnin määrittämispaikat olivat Riihimäen ja Oulun meijerit. Kuvan 21a aistinvaraisen arvioinnin ajanhetki oli vrk valmistuksesta ja 21b näytteen parasta ennen (PE) -päivä. Tutkimusnäytteiden aistinvaraisesti arvioitavat ominaisuudet olivat haju/maku, rakenne ja ulkonäkö. Arvostelu asteikko 1–5. Tulokset ovat keskiarvoja (Näytteet: Riihimäen valmistuseristä tuoreena N=17 kpl ja PE päivänä N=4 ja Oulun näytteet valmistuserää N=31 tuoreena ja parasta ennen (PE) -päivänä. Aistinvaraisten arviointien suorittamistapa oli 1 jogurttipurkki/1valmistuserä.



#### 4.1.6 Tilastollinen tarkastelu

Jogurttimassojen loppu pH-arvon, viskositeettien, hiutale- ja heramäärien yksisuuntainen varianssianalyysi (One-way ANOVA) (liite 1). Analyysin mukaan Riihimäen ja Oulun meijereiden laatuparametrien ryhmäkeskiarvot (loppu pH, viskositeetti, hiutale- ja heramäärä) poikkesivat toisistaan.

Riihimäen ja Oulun meijereiden jogurttien rakenneominaisuuksien kanssa (viskositeetti, hiutale- ja heramäärä) merkitsevästi korreloivat ( $r$  ja  $p$ -arvo) jogurtin valmistusparametrit (taulukko 13). Riihimäen meijerin jogurtin rakenneominaisuuksien kanssa korreloivia valmistusparametreja oli 14kpl, joista kaksi liittyi jogurttimaidon koostumukseen rasvapitoisuus (%) ( $r=0,530/p=0,002^{**}$ ) ja proteiinipitoisuus (%) ( $r=0,469/p=0,008^{**}$ ). Merkitsevimmät rakenneominaisuuksien ja prosessimuuttujien väliset korrelaatiot olivat: viskositeetin (mPas) korrelaatio jogurttimassan pakkaamisen aloituksen odotusajan (PAO) (min) ( $r=-0,629/p=0,000^{***}$ ) kanssa ja viskositeetin korrelaatio haihdutuksen lämpötilan (vaihe1) ( $r=-0,352/p=0,001^{***}$ ) kanssa. Jogurtin rakenneominaisuuksien välinen korrelaatio oli myös merkitsevä. Viskositeetti korreloi merkitsevästi jogurtin heramäärän kanssa ( $r=-0,563/p=0,001^{***}$ ).

Oulun meijerin tutkimuksen jogurttien rakenneominaisuuksien kanssa (viskositeetti, hiutale- ja heramäärä) merkitsevästi korreloivia valmistusparametreja oli 19kpl, joista kuusi liittyi jogurttimaidon koostumukseen. Hiutalemäärä korreloi jogurttimaidon proteiinipitoisuuden (%) ( $r=-0,670/p=0,000^{***}$ ) kanssa. Heramäärä korreloi jogurttimaidon kuiva-ainepitoisuuden (%) ( $r=-0,608/p=0,000^{***}$ ), proteiini- ( $r=-0,518/p=0,003^{**}$ ) ja laktoosipitoisuuksien ( $r=-0,541/p=0,002^{**}$ ) kanssa. Merkitsevimmät heramäärän kanssa korreloivat prosessimuuttujat olivat homogenointipaine ( $r=-0,499/p=0,004^{**}$ ) ja haihdutuksen virtausnopeus (in) (l/h) ( $r=-0,655/p=0,000^{***}$ ).

Tutkimuksen jogurttien rakenneominaisuuksien (Oulun ja Riihimäen meijeri) (loppu pH-arvo, viskositeetti, hiutale- ja heramäärä) spesifikaatorajat on esitetty liitteissä 2–5. Jogurttimassan kypsymisen loppu pH-arvon spesifikaatorajat ovat pH 4,5-4,6. Rakenneominaisuuksien spesifikaatorajat ovat: viskositeetti 80-250 (mPas), hiutalemäärä 0-50 kpl/g ja heramäärä 0-110 ml/kg.

**Taulukko 13.** Riihimäen ja Oulun meijereiden jogurttien (N=62) rakenneominaisuuksien Pearsonin korrelaatiokertoimet (r) ja tilastollisesti merkitsevät p-arvot jogurttimaidon koostumuksen ja prosessidatan kanssa. Jogurteista tutkittavat rakenneominaisuudet olivat viskositeetti (mPas), hiutalemäärä (kpl/g) ja heramäärä (ml/kg).

<b>Jogurtin rakenneominaisuudet vs. jogurttimaidon koostumus ja prosessidata (Riihimäen ja Oulun meijerit, N=62)</b>	<b>Riihimäen meijeri r</b>	<b>Riihimäen meijeri p-arvo</b>	<b>Oulun meijeri r</b>	<b>Oulun meijeri p-arvo</b>
<b>VISKOSITEETTI (mPas)</b>				
Jogurttimaidon rasvapitoisuus (%)	0,530	0,002**		
Jogurttimaidon proteiinipitoisuus (%)	0,469	0,008**		
Jogurttimaidon laktoosipitoisuus (%)			0,352	0,052*
Haihdutus vaihe 1, lämpötila (°C) keskiarvo	-0,352	0,052*		
Haihdutus (in) virtausnopeus (l/h) minimi			0,351	0,053*
Pakkaamisen aloituksen odotusaika (min)	-0,629	0,000***		
Jogurtin heran määrä (ml)	-0,563	0,001***		
<b>HIUTALEMÄÄRÄ (kpl/g)</b>				
Jogurttimaidon proteiinipitoisuus (%)			-0,670	0,000***
Jogurttimaidon laktoosipitoisuus (%)			-0,350	0,054*
Haihdutus (in) virtausnopeus (l/h) maksimi			0,834	0,000***
Haihdutus (in) virtausnopeus (l/h) keskiarvo			-0,352	0,052*
Haihdutus vaihe 2, lämpötila (°C) minimi	-0,372	0,043*		
Haihdutus vaihe 2, lämpötila (°C) maksimi	0,559	0,001***		
Haihdutus vaihe 2, lämpötila (°C) keskihajonta	0,369	0,045*		
Homogenointipaine (bar) maksimi			0,796	0,000***
Sterilointi 1, minimilämpötila (°C)	0,512	0,004**		
Laktaasilisäys (ml)			0,352	0,052*
Jäähdytyksen virtausnopeus (kg/h) keskiarvo	-0,414	0,04*		
<b>HERAMÄÄRÄ (ml/kg)</b>				
Jogurttimaidon rasvapitoisuus (%)	-0,486	0,006**		
Jogurttimaidon proteiinipitoisuus (%)			-0,518	0,003**
Jogurttimaidon laktoosipitoisuus (%)			-0,541	0,002**
Jogurttimaidon kuiva-ainepitoisuus (%)			-0,608	0,000***
Haihdutus (in) virtausnopeus (l/h) keskiarvo			-0,655	0,000***
Haihdutus (out) virtausnopeus (l/h) keskiarvo			0,357	0,049*
Haihdutus (jatkuva) virtausnopeus (l/h) maksimi			-0,504	0,004**
Haihdutus (jatkuva) virtausnopeus (l/h) keskiarvo			-0,500	0,004**
Haihdutettu kurri %	-0,379	0,035*		
Homogenointilämpötila (°C) maksimi			-0,390	0,030*
Homogenointipaine (bar) minimi			-0,485	0,006**
Homogenointipaine (bar) keskihajonta			0,494	0,005**
Homogenointipaine (bar) keskiarvo			-0,499	0,004**
Kypsytysaika (min)	-0,386	0,032*		
Jogurtin viskositeetti	-0,563	0,001***		

Merkitsevyystasot:  $p \leq 0,05^*$ ,  $p \leq 0,01^{**}$ ,  $p \leq 0,001^{***}$

## 4.2 Riihimäen meijerin jogurttimaidon proteiinipitoisuuden vaikutus

### 4.2.1 Jogurttimaitojen koostumus ja jogurttimassojen loppu pH-arvot

Riihimäen meijerin tutkimuksen jogurttimaitojen koe-erien (n=4) muutettu kemiallinen koostumus proteiinipitoisuuden osalta (taulukko 14). Tutkimuksen jogurttimaitojen proteiini- ja rasvapitoisuuden (2,5%) tavoitteet (vertailuerät) oli laitettu Riihimäen meijerin jogurtin valmistuksen reseptiohjeeseen. Riihimäen meijerin tutkimuksen koe-eriin jogurttien jogurttimaitojen proteiinipitoisuutta alennettiin valmistuksen reseptiin.

**Taulukko 14.** Riihimäen meijerin jogurttimaitojen koe-erien (N=4) kemiallinen koostumus.

Koe-erät Riihimäen meijeri	Proteiinipitoisuus (%)	Rasvapitoisuus (%)	Laktoosipitoisuus (%)	Kuiva- ainepitoisuus (%)
1	p1	2,51	5,02	12,64
2	p2	2,56	4,99	12,62
3	p3	2,4	4,9	12,27
4	p4	2,55	5,01	12,65
<b>keskiarvo</b>	<b>p5</b>	<b>2,51±0,11</b>	<b>4,98±0,08</b>	<b>12,55±0,28</b>

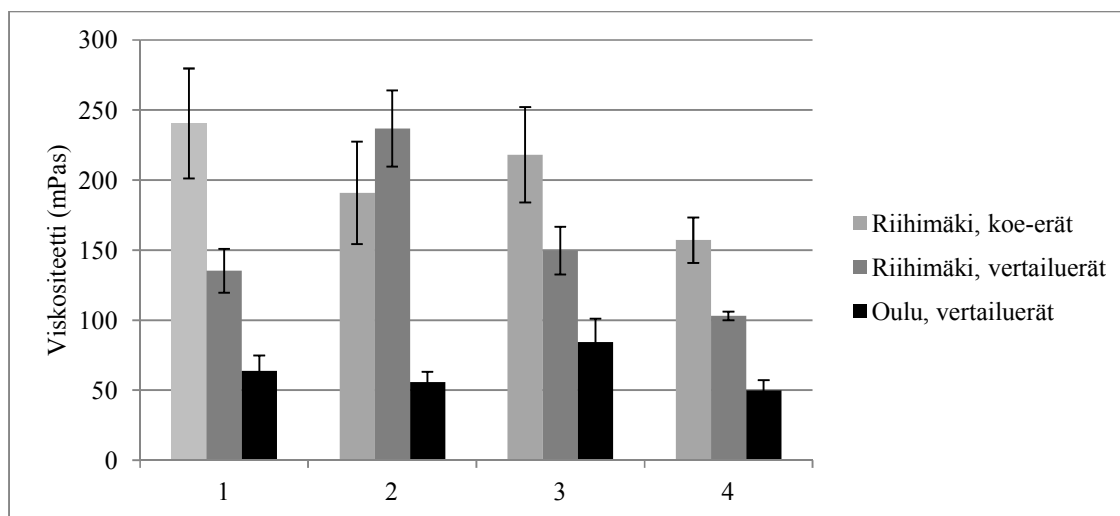
Riihimäen meijerin koe- ja vertailuerien sekä Oulun meijerin vertailuerien jogurttimassojen loppu pH-arvot (ka.) (taulukko 15). Riihimäen meijerin koe-erien ja vertailuerien loppu pH-arvot olivat ~4,6 (ka.) ja Oulun meijerin vertailuerien loppu pH-arvo olivat 4,5 (ka.).

**Taulukko 15.** Riihimäen ja Oulun mejereiden jogurttimassojen koe-erien ja vertailuerien (N=12) (Riihimäki n=8 ja Oulu n=4) loppu pH-arvot.

Riihimäen ja Oulun meijeri Koe-erät	Loppu pH-arvo Riihimäen meijeri koe-erät	Loppu pH-arvo Riihimäen meijeri vertailuerät	Loppu pH-arvo Oulun meijeri vertailuerät
1	4,61	4,59	4,52
2	4,62	4,61	4,48
3	4,56	4,60	4,54
4	4,59	4,60	4,46
<b>keskiarvo</b>	<b>4,59±0,03</b>	<b>4,60±0,01</b>	<b>4,50±0,04</b>

#### 4.2.2 Viskositeetti (mPas)

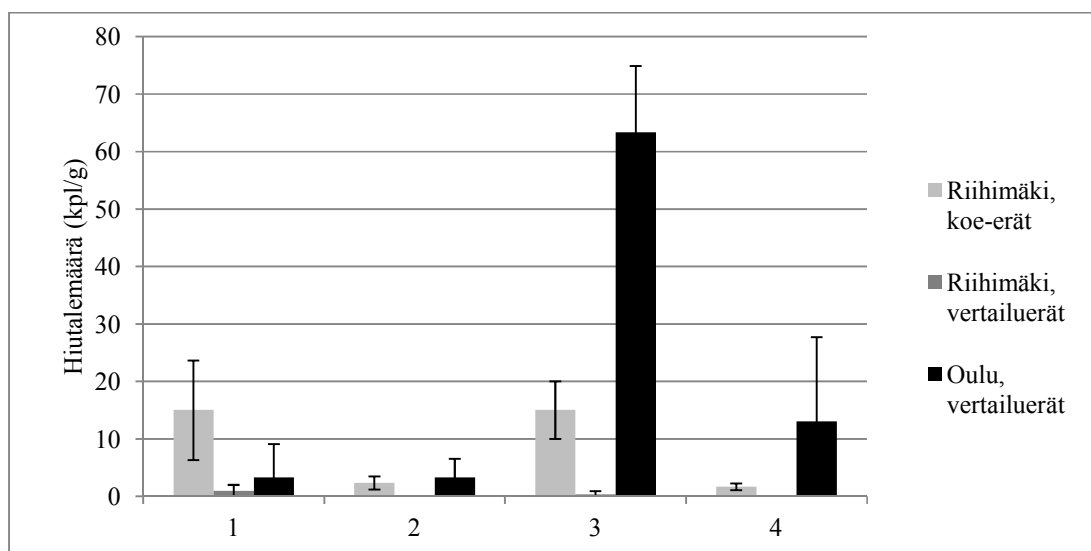
Riihimäen meijerin koe-erien ja vertailuerien sekä Oulun meijerin vertailuerien jogurtinäytteiden viskositeetit (mPas) (kuva 22). Riihimäen meijerin koe-erien viskositeettien keskiarvo oli 201,61 mPas (vaihteluväli oli 157,09–240,41 mPas). Riihimäen meijerin vertailuerien viskositeettien keskiarvo oli 156,12 mPas (vaihteluväli oli 102,93–236,78 mPas). Oulun meijerin vertailuerien viskositeettien keskiarvo oli 63,34 mPas (vaihteluväli oli 49,86–84,31 mPas).



**Kuva 22.** Riihimäen meijerin tutkimuksen koe- ja vertailuerien sekä Oulun meijerin vertailuerien jogurttien viskositeetit (mPas) oli mitattu 27h varastoinnin jälkeen. Riihimäen meijerin tutkimuksen jogurtinäytteiden mittausta paikka oli Riihimäen meijeri. Oulun meijerin näytteiden mittausta paikka oli Oulun meijeri. Rinnakkaisten näytteiden määrä per erä oli N=6 (yht. N=18). Rinnakkaisten näytteiden yhteismäärä oli N=72.

#### 4.2.3 Hiutalemäärä (kpl/g)

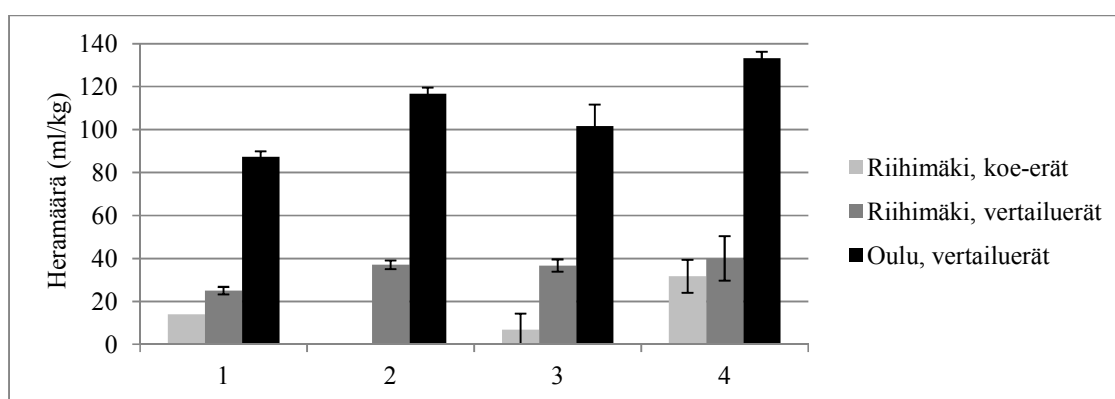
Riihimäen meijerin koe-erien ja vertailuerien sekä Oulun meijerin vertailuerien jogurttien hiutalemäärät (kpl/g) (kuva 23). Riihimäen meijerin koe-erien jogurttien hiutalemäärien keskiarvo oli 8,50 kpl/g (vaihteluväli oli 1,67–15 kpl/g). Riihimäen meijerin vertailuerien hiutalemäärien keskiarvo oli 0,33 kpl/g (vaihteluväli oli 0–1 kpl/g). Oulun meijerin vertailuerien hiutalemäärien keskiarvo oli 20,75 kpl/g (vaihteluväli oli 3,33–63,33 kpl/g).



**Kuva 23.** Jogurttien koe- ja vertailuerien (Riihimäen meijeri) hiutalemäärät (kpl/g) sekä Oulun meijerin vertailuerien hiutalemäärät (kpl/g). Sekä Riihimäen meijerin että Oulun meijerin tutkimuksen jogurttinäytteiden mittauspaiikkana oli Riihimäen meijeri. Rinnakkaisten näytteiden määrä per erä oli N=3 (yht. N=9). Rinnakkaisten näytteiden yhteismäärä oli N=36.

#### 4.2.4 Heramäärä (ml/kg)

Riihimäen meijerin koe-erien ja vertailuerien sekä Oulun meijerin vertailuerien heramäärät (ml/kg) (kuva 24). Riihimäen meijerin koe-erien heramäärien keskiarvo oli 13,13 ml/kg (vaihteluväli oli 0-31,6 ml/kg). Riihimäen meijerin vertailuerien heramäärien keskiarvo oli 34,67 ml/kg (vaihteluväli oli 25–40 ml/kg). Oulun meijerin vertailuerien heramäärien keskiarvo oli 109,75 ml/kg (vaihteluväli oli 87,33–133,33 ml/kg).



**Kuva 24.** Riihimäen meijerin jogurttien koe- ja vertailuerien sekä Oulun meijerin vertailuerien heramäärät (ml/kg). Rinnakkaisten näytteiden määrä per erä oli N=3 (yht. N=9). Rinnakkaisten näytteiden yhteismäärä oli N=36.

## 5 POHDINTA

Jogurtin valmistusprosessiin kuuluu monia valmistusprosessivaiheita kuten separointi, vakiointi, haihdutus, homogenointi, pastörinti, kypsytyt, jähdytys, pakkaaminen ja kylmävarastointi. Hyvälaatuinen jogurtti saadaan aikaan, kun valmistusprosessivaiheiden lämpötiloja, paineita ja virtauksia tarkkaillaan. Myös laboratoriotutkimukset ovat tärkeä osa jogurtin valmistusprosessin laaduntarkkailua. Jogurtista arvioidaan aistinvaraisesti haju/maku, rakenne ja ulkonäkö. Lisäksi jogurtista tutkitaan rakenneominaisuudet (viskositeetti (mPas), hiutalemäärä (kpl), heramäärä (ml)). Hyvälaatuinen jogurtti on viskoosi (löysä-paksu), jogurtin hiutale- ja heramäärät ovat hyvin alhaiset.

### 5.1 Riihimäen meijerin jogurtin laatu

Yleisesti voidaan todeta, että Riihimäen meijerin jogurtit olivat sopivan kiinteitä ja viskooseja, hiutale- ja heramäärät olivat hyvin alhaiset. Jogurttien aistinvaraisen laadun rakenne ja ulkonäkö vaihtelivat vähemmän kuin haju/maku. Lisäksi jogurttien aistinvarainen laatu (haju/maku, rakenne ja ulkonäkö) vaihteli vähemmän tuoreena kuin parasta ennen -päivänä. Jogurtin laadun tutkimiseen käytettiin korrelaatioanalyysiä. Jogurttien valmistusprosessidatan tilastolliseen analysointiin käytettiin Pearsonin korrelaatiokerrointa (r). Oleellisia olivat jogurtin valmistusprosessivaiheiden datatulokset, jotka korreloivat merkitsevästi (p-arvo  $\leq 0,05$ ) jogurttien rakenneominaisuuksien kanssa (viskositeetti (mPas), hiutalemäärä (kpl), heramäärä (ml)).

Riihimäen meijerin jogurttimaidon koostumuksen rasva- ja proteiinipitoisuudet korreloivat merkitsevästi jogurtin viskositeetin kanssa. Jogurtin viskositeetti oli sitä korkeampi, mitä korkeammat olivat jogurttimaidon rasva- ja proteiinipitoisuudet. Sodin ym. (2004) tutkimus tukee tätä havaintoa. Sodin ym. (2004) mukaan jogurtin rakennetta vahvisti jogurttimaidon korkeammat rasva- ja proteiinipitoisuudet eli jogurttimaidon kuiva-ainepitoisuus. Vesi saatiin sidottua paremmin jogurtin rakenteesta kun rasva- ja proteiinipitoisuudet olivat korkeampia. Seurauksena myös jogurtin viskositeetti kasvoi, jopa 50%.

Riihimäen meijerin jogurtin valmistuksen yksi tärkeimmistä prosessivaiheista oli haihdutus. Jogurtin viskositeetin kanssa korreloi merkitsevästi haihdutuslämpötila (°C) (vaihe1). Jogurtin viskositeetti aleni ~33%, kun prosessin haihdutuslämpötila nousi valmistuksen aikana 6°C:ta. Jogurtin raaka-aineen haihdutusprosessivaihe oli jäänyt osittain tekemättä koska kuoritusta maidosta vain osa haihdutettiin. Haihdutusvaiheen jälkeen tehtiin vakiointi. Seurauksena oli haihdutetun ja haihduttamattoman kuoritun maidon sekoitus jogurtin raaka-aineeksi. Mahdollisesti vakiointi oli näin ollen osittain epäonnistunut, jolloin jogurtin viskositeetti aleni. Jogurtin valmistuksen prosessivaiheiden korkeapastörinti ja sterilointi denaturoivat heraproteiineista ~80–90%. Aneman ja Lin (2003) mukaan suurin osa (70–80%) denaturoituneista heraproteiineista assosioitui kaseiinimiselleihin. Assosioitumista vauhditti lisää maidon pH:n lasku. Kaiken kaikkiaan oikea pH ja lämpötila nostivat maidon viskositeettia.

Mielenkiintoinen havainto oli, kuinka pakkaamisen aloituksen odotusaika (PAO) korreloi Riihimäen meijerin jogurtin viskositeetin kanssa. Kun pakkaamisen aloituksen odotusaika oli yli viisi tuntia, jogurtin viskositeetti oli yli 30% alhaisempi kuin jogurtin, jonka PAO oli mahdollisimman lyhyt. Nakhlanin (1995) ja Chandanin sekä O'Rellin (2006b) mukaan kypsytetty jogurttimassa kannatti jäähdyttää ja pakata mahdollisimman nopeasti ilman odotusaikoja. Kyseinen toimintatapa varmisti tuotannon sujumisen. Mikäli pakkaamisen aloituksen odotusaika (10h/20°C) oli pitkä, jogurttimassaan muodostui jogurtin rakennetta vahvistavia rikkisilloja (-S-S-) (Özer 2010). Kun jogurttimassa pakataan pitkän odotusajan jälkeen, mekaanisen käsittelyn seurauksena jogurtin rakennetta vahvistavat rikkisillat voivat hajota. Tämän seurauksena jogurtin rakenteen palautumista (engl. rebodding) tapahtuu harvoin, jolloin jogurtin viskositeetti on alhainen (Lee ja Lucey 2010). Riihimäen meijerin tutkimus tulosten mukaan PAOn keskiarvo oli kaksi tuntia ja tulosten mukaan valmistusprosessin optimaalinen PAO olisi enintään kolme tuntia.

Riihimäen meijerin jogurtin valmistuksen tutkimus antoi ymmärtää, että tärkein tekijä, joka vahvisti jogurtin viskositeettia, oli jogurttimaitoon lisätty stabilointiaine. Tutkijat (Jaros ym. 2007; Tamime ja Robinson 2007b; Gauchen ym. 2009) huomasivat että stabilointiaineen ominaisuuksiin kuului jogurtin geelin vahvistaminen, jonka seurauksena jogurtin viskositeetti kasvoi. Ercili-Curan ym. (2013) stabilointiaineen vaikutuksesta jogurttiin muodostui pienihuokoinen ja verkkomainen rakenne, joka pidatti vettä. Stabilointiaine-lisäyksen vuoksi

jogurttiin saadaan aikaan sellaiset teknologiset ominaisuudet, että rakenne kestää paremmin muokkausta ja tuotteeseen kohdistuvia mekaanisia voimia.

Riihimäen meijerin jogurtin hiutalemäärä korreloi merkitsevästi haihdutuslämpötilan (vaihe2 minimi, maksimi, keskihajonta) kanssa. Hiutalemäärä korreloi merkitsevästi myös sterilointilämpötilan (minimi) vaihtelun kanssa. Kun sterilointikuumennuksen minimilämpötila oli korkeimmillaan, jogurtin hiutalemäärä oli lievästi kohonnut. Kun sterilointikuumennuksen minimilämpötila oli alimmillaan, jogurtin hiutalemäärä oli selvästi alhainen. Mahdollisesti haihdutus- ja sterilointikuumennus vaiheiden jälkeen tapahtunut kypsytysvaiheen epätäydellinen hapatebakteerien sekoitus oli aiheuttanut jogurttiin hiutaleisuutta (Anonymous 2004). Kucukcetin (2008) tutkimuksen mukaan kun pastörintiprosessin lämpötila/aika-yhdistelmä oli 95°C/256s, hiutalemäärä oli 26kpl. Vastaavasti kun pastörintiprosessin lämpötila oli korkeampi (130°C/80s), hiutalemäärä väheni (0kpl). Kucukcetin (2008) tutkimukseen viitaten Riihimäen meijerin erityinen kuumennusvaihe vähensi jogurtin hiutalemäärää. Kaiken kaikkiaan jogurtin valmistusta ajatellen, selkeää, oikeaa ja riittävää lämpötila/aika-yhdistelmää, jolla saadaan hiutaleiden määrää vähennettyä, on hankala määrittää.

Riihimäen meijerin jogurtin valmistusprosessin kriittinen vaihe oli jogurttimassan jäähtymisen virtausnopeus. Hiutalemäärä korreloi merkitsevästi jogurttimassan jäähtymisen virtausnopeuden kanssa. Kun jogurttimassan jäähtymisen virtausnopeus oli maksimissaan, jogurtin hiutalemäärä oli minimissään. Hiutalemäärä lisääntyi merkitsevästi, mikäli jäähtymisen todellinen virtausnopeus oli pienempi kuin virtausnopeuden maksimi. Mikäli Riihimäen meijerin tietyn kypsytyssäiliön ja pakkaussäiliön välinen jogurttimassan siirtoputkisto oli pitkä, jogurttimassan jäähtymisen virtausnopeus laski. Tilanne johtui siitä, että jogurttimassan siirtyminen pakkaussäiliöön oli estynyt koska siirtolinjaan oli muodostunut ns. ilmalukko ennen jogurttimassan levyjäähdytin yksikköä. Tammen ja Robinsonin (1999) sekä Chandan ja O'Rellin (2006b) mukaan oli suositeltavaa pitää jäähtymisen virtausnopeus tasaisena, kun jogurttimassaa jäähdytettiin ja siirrettiin säiliöstä toiseen. Siirtolinjan lohkoroottoripumppu pyöri tasaisesti, jolloin myös jogurttimassan virtaus oli tasainen. Näin ollen jogurttimassa pysyi homogeenisena ja visuaalisesti hyvälaatuisena. Tasainen virtausnopeus esti hiutaleiden muodostumista jogurtin rakenteeseen.



Riihimäen meijerin jogurttimaidon rasva vakioitiin tiettyyn rasvaprosenttiin jogurtin valmistuksen haihdutusprosessivaiheen jälkeen. Tärkein huomio oli, että jogurtin heramäärä korreloi merkitsevästi jogurttimaidon rasvapitoisuuden kanssa. Tuloksista voitiin todeta että, mitä korkeampi oli jogurttimaidon rasvapitoisuus, sitä vähemmän jogurtista erottui heraa. Riihimäen meijerin jogurtin heramäärä oli kuitenkin kaiken kaikkiaan alhainen. Keogh ja O’Kennedy (1998) totesivat tutkimuksessaan, että heraa erottui 3,46% vähemmän, kun jogurtin rasvapitoisuus oli 5%. Kun jogurttimaito homogenoitiin ja jogurttimaidon rasvapitoisuus oli korkea, jogurttiin muodostui tiivis proteiiniverkosto. Kun rasvapitoisuus oli alhainen, jogurtin proteiiniverkostosta muodostui löyhempi joten jogurtista erottui enemmän heraa. Rasvapitoisuus vaikutti näin ollen merkitsevästi jogurtin vedenpidätyskykyyn.

Separointiprosessivaihe erottaa raakamaidon kermaksi ja kuorituksi maidoksi. Riihimäen meijerin kuoritusta maidosta yksi osa haihdutettiin ja toinen osa siirtyi sellaisenaan eteenpäin seuraavaan prosessivaiheeseen. Haihdutusprosenttiin vaikutti jogurttimaidon tavoite proteiinipitoisuus. Jogurtin valmistusprosessi yhdisti jatkuvatoimisesti haihdutetut ja haihduttamattomat kuoritun maidon osat. Jogurtin heramäärä korreloi merkitsevästi haihdutetun kuoritun maidon määrän (%) kanssa. Mitä enemmän kuorittua maitoa haihdutettiin, sitä vähemmän jogurtista erottui heraa. Optimaalinen kuoritun maidon haihdutusprosentti oli tämän tutkimuksen mukaan  $\geq 18\%$ . Niin ikään Walstran ym. (2006) mukaan tuotteen haihdutusprosessin haihdutusaste (%) on huomioitava.

Riihimäen meijerin jogurtin heramäärä korreloi merkitsevästi kypsytyksajan kanssa. Mitä kauemmin jogurtia kypsytettiin, sitä pienempi oli jogurtista erottuva heramäärä. Lyhyt kypsytyksaika puolestaan lisäsi jogurtista erottuvaa heramäärää. Mitä kauemmin jogurttimassaa kypsytetään, sitä enemmän jogurttimassan proteiiniverkoston  $\kappa$ -kaseiinit ja heraproteiinit ( $\alpha$ -La,  $\beta$ -Lg) muodostavat keskenään sidoksia (Özer 2010). Näin ollen proteiiniverkostosta tulee tiiviimpi ja sen vedenpidätyskyky kasvaa. Stabilointiaine-lisäys vähentää jogurtin heran erottumista. Stabilointiaineen vaikutuksesta jogurtin proteiinien muodostama verkkorakenne on kestävämpi, lujempi ja pienihuokoisempi (Tamime Robinson 2007b; Gauche ym. 2009). Verkkorakenne tarkoittaa kaseiinimisellin kaseiiniproteiiniyksiköiden aminohappotähteiden (lyysiini- ja glutamiini-) välisiä kovalenttisia sidoksia. Tutkimustulosten mukaan Riihimäen meijerin jogurttimassan optimaalinen kypsytyksaika olisi 6,5h, jolloin jogurtin vedenpidätyskyky olisi parhaimmillaan.

Riihimäen meijerin jogurtin heramäärä korreloi merkitsevästi jogurtin viskositeetin kanssa. Kun jogurtin viskositeetti kasvoi >65%, jogurtin heramäärä puolestaan väheni 30%. Jogurttiin saatiin korkea viskositeetti kun resepti ja jogurtin valmistukseen kuuluvat prosessivaiheet olivat optimaaliset.

Lisäksi tutkittiin Riihimäen meijerin jogurttimaidon proteiinipitoisuuden alentamisen ja stabilointiaineen annostuksen nostamisen vaikutusta jogurtin laatuun. Tutkimuskokeen jogurtin proteiinipitoisuutta alennettiin x-prosenttiyksikköä ja stabilointiaine annostusta nostettiin. Stabilointiaineen annostuksen nostamisen vuoksi pelkkää proteiinipitoisuuden alentamisen vaikutusta rakenneominaisuuksiin (viskositeetti, hiutale- ja heramäärä) oli hankala todentaa. Jogurttien viskositeetit nousivat ~20%, kun stabilointiaineen annostusta nostettiin. Lisäksi heraa erottui selvästi vähemmän näistä koejogurteista kuin vertailujogurteista. Tutkimuskokeen tulosten mukaan jogurtin hiutalemäärä nousi kun stabilointiaineen annostusta nostettiin. Tutkijoiden (Sodini ym. 2004) mukaan stabilointiainelisyys nosti jogurtin hiutalemäärää. Hiutalemäärä saattoi johtua liian tiiviistä geelirakenteesta kypsymisen jälkeen. Geeliverkosto oli tiheä ja pienihuokoinen, jolloin jogurtin prosessointi (sekoittimet/pumput) ei pysty riittävästi hajottamaan ja edelleen muokkaamaan jogurttimassaa homogeeniseksi. Mahdollisesti tarvitaan voimakkaampi jogurttimassan sekoitus ja lisäksi Riihimäen meijerin jogurtin valmistuslinjaan tarvitaan erillinen jogurttimassaa muokkaava laitteisto.

## 5.2 Oulun meijerin jogurtin laatu

Yleisesti voidaan todeta, että Oulun meijerin jogurtin kiinteys ja viskositeetti vaihtelivat, jogurtin rakenne oli epähomogeeninen koska siinä oli selvästi erottuvia isoja hiutaleita ja jogurtista erottunut heramäärä oli korkea. Jogurtin aistittava laatu; haju/maku, rakenne ja ulkonäkö vaihtelivat vähemmän tuoreena kuin parasta ennen päivänä. Jogurtin laadun tutkimiseen käytettiin korrelaatioanalyysiä. Jogurttien valmistusprosessidatan tilastolliseen analysointiin käytettiin Pearsonin korrelaatiokerrointa ( $r$ ). Oleellisia olivat jogurtin valmistusprosessivaiheiden datatulokset, jotka korreloivat merkitsevästi ( $p$ -arvo  $\leq 0,05$ ) jogurtin rakenneominaisuuksien kanssa (viskositeetti, hiutaleisuus ja heran erottuminen).

Oulun meijerin jogurtin viskositeetti korreloi merkitsevästi jogurttimaidon laktoosipitoisuuden kanssa. Kun jogurttimaidon laktoosipitoisuus nousi, jogurtin viskositeetti kasvoi. Oulun meijerin jogurtti oli kuitenkin HYLÄ-jogurttia eli maidon laktoosin pilkkomiseen käytettiin laktaasi-entsyymiä. Näin jogurttimaidon laktoosipitoisuutta saatiin alennettua. Tutkimustulosten mukaan Oulun meijerin jogurttimaidon korkeampi laktoosipitoisuus nostaisi jogurtin viskositeettia. Tarkoitus kuitenkin on, että Oulun meijeri valmistaa tulevaisuudessakin HYLÄ-jogurttia, josta laktoosi on pilkottu. Sodini ym. (2004) olivat tehneet mielenkiintoisen havainnon. Tutkijoiden mukaan jogurttimaidon laktoosipitoisuuden nousu pienensi kaseiiniproteiinipartikkeleita ja pienten kaseiiniproteiinipartikkeleiden hydratoituminen väheni. Näin ollen jogurttigeelin vedenpidätyskyky kasvoi.

Oulun meijerin jogurtin viskositeetti korreloi merkitsevästi haihdutuksen syöttövirtausnopeuden (minimi) kanssa. Jogurttimaidon haihdutuksen syöttövirtausnopeuden (l/h) (minimi) vaihtelu, sai aikaan jogurttimaidon kuiva-ainepitoisuuden vaihtelua. Tutkimustulosten mukaan kun jogurttimaidon kuiva-ainepitoisuutta (%) nostettiin ~0,5 prosenttiyksikköä, jogurtin viskositeetti kasvoi >50%. Walstra ym. (2006) mukaan jogurttimaidon kuiva-aineen merkitys viskositeettiin on iso. Senpä vuoksi veden täytyy haihtua tasaisesti nesteestä. Tarkoittaa sitä että haihdutusprosessiin syötettävän nesteen volyyymi on tasainen ja nesteen virtausnopeus mahdollisimman iso.

Oulun meijerin jogurtin hiutalemäärä korreloi merkitsevästi jogurttimaidon laktoosi- ja proteiinipitoisuuksien kanssa. Jogurttien hiutalemäärä oli alhaisempi, kun jogurttimaidon laktoosi- ja proteiinipitoisuus pienenevät. Tämän tutkimuksen mukaan jogurttimaidon proteiinipitoisuutta kannattaa säätää niin että hiutaleita olisi vähemmän. Luceyn ja Singhin (1998a) mukaan jogurttimassaan voi jäädä isojaakin proteiinipartikkeleita kun jogurttimassan proteiinipitoisuus on alhaisempi. Proteiinipartikkelien takia jogurttimassa on epähomogeeninen ja jogurttimassasta voi näin ollen visuaalisesti helposti erottaa partikkeleita. Tutkimustulosten mukaan Oulun meijerin jogurttien hiutalemäärää saataisiin vähennettyä kun jogurttimaidon proteiini- ja laktoosipitoisuutta nostettaisiin ~0,2 prosenttiyksikköä.

Oulun meijerin jogurtin hiutalemäärä korreloi merkitsevästi haihdutuksen syöttövirtausnopeuden (maksimi) kanssa. Hiutalemäärää nosti haihdutuksen syöttövirtausnopeuden (maksimi) poikkeukselliset "virtauspiikit". Mikä tarkoittaa sitä että haihdutuksen syöttövirtaus oli epätasaista eli jogurtin valmistusprosessin haihdutuksen

syöttövirtaus pysähtyi hetkellisesti. Haihdutusprosessi kuitenkin jatkui edelleen ja siirtopumput yrittivät siirtää jogurttimaitoa seuraavaan prosessivaiheeseen. Joten jogurtin hiutalemäärä kasvoi jogurttimaidon mekaanisen muokkaantumisen vuoksi. Walstran ym. (2006) mukaan haihdutusvaiheen syöttövirtausnopeus pitää pyrkiä pitämään mahdollisimman isona.

Oulun meijerin jogurttien hiutalemäärä korreloi merkitsevästi myös haihdutuksen syöttövirtausnopeuden (keskiarvo) kanssa. Hiutalemäärää nosti haihdutuksen syöttövirtausnopeuden (keskiarvo) vaihtelu. Kuten aikaisemmin todettiin jogurttimaidon syöttövirtaus haihdutusprosessin lämmitysyksikköön oli epätasaista. Näin ollen jogurttimaidon kuumennus oli epätasaista, jolloin jogurttimaitoon muodostui ns. proteiini"kimppuja". Ne voitiin erottaa jogurtista visuaalisesti. Tutkimustulosten mukaan Oulun meijerin jogurttien hiutalemäärä määrä vähenee >95%, kun haihdutusprosessin syöttövirtausnopeus (keskiarvo) säädetään mahdollisimman isoksi kuten Walstrakin ym. (2006) totesi.

Oulun meijerin jogurtin hiutalemäärä korreloi merkitsevästi valmistuksen homogenoinnin (homogenointipaine) kanssa. Jogurtin hiutalemäärää lisäsi homogenointipaineen (maksimi) poikkeuksellinen, yksittäinen "paineisku". Homogenoinnin aikana nesteen potentiaalinen energia muuttuu lämpöenergiaksi (Walstra ym. 2006). Mikäli nesteen virtausnopeus on hyvin voimakas, nesteeseen muodostuu voimakkaita pyörteitä. Tutkimustulosten mukaan Oulun meijerin homogenoinnin poikkeamat olivat mahdollisesti seurausta jogurttimaidon virtausnopeuksien (in/out) isosta vaihtelusta. Sen vuoksi jogurttimaitoon muodostui voimakkaita pyörteitä, kun jogurttimaito virtasi homogenointiventtiilin kapeiden rakojen läpi. Nämä voimakkaat pyörteet muuttivat homogenointiventtiilin painetta äkillisesti. Paineiskun aikana homogenointiventtiilin virtausnopeuksien (in/out) erot olivat isot koska homogenointilaitte säättää virtausnopeuksia automaattisesti. Näin ollen jogurttimaidon mekaaninen käsittely on saattanut nostaa hiutalemäärää. Homogenointivirtausta olisi syytä seurata esimerkiksi mittaamalla on-line homogenointipainetta ja samalla säättää laitteisto niin ettei yksittäisiä korkeita paineiskuja pääse muodostumaan.

Oulun meijerin jogurtista erottuva heramäärä korreloi erittäin merkitsevästi jogurttimaidon koostumuksen (proteiini-, laktoosi-, kuiva-ainepitoisuus) kanssa. Denaturoituneiden heraproteiinien beta-laktoglobuliinin ja alfa-laktalbumiinin tioli- (-SH) ja rikkisidokset (-S-S-) kaseiinimisellin kappa-kaseiinin kanssa saavat aikaan yhtenäisen ja sileän hyytymän, joka

pidättää heraa (Özer 2010). Laktoosipitoisuuden nousu tiivistää geeliä kun laktoosi muuttuu maitohapoksi (Sodini ym. 2004). Jogurtista erottuu heraa vähemmän, kun kuiva-ainepitoisuus on korkea jolloin viskositeetti ja vedenpidätyskyky ovat korkeita. Tämän tutkimuksen tulosten mukaan jogurtista erottui esim. heraa puolet vähemmän ja viskositeetti oli puolet korkeampi, kun jogurttimaidon kuiva-ainepitoisuutta nostettiin ~0,5 prosenttiyksikköä.

Oulun meijerin jogurtin heramäärä korreloi erittäin merkitsevästi haihdutusprosessin virtausnopeuksien kanssa. Haihdutuksen on tarkoitus nostaa jogurttimaidon kuiva-ainepitoisuutta. Kun jogurttimaidon haihdutusvirtausnopeus on mahdollisimman iso, jogurtti on hyvälaatuinen. Yleensä jogurttimaitoa haihdutetaan monivaiheisesti niin kauan että saavutetaan esim. haluttu proteiinipitoisuus. Jogurttimaidon virtausnopeus on suositeltavaa säätää mahdollisimman korkeaksi (Tetra Pak 2003). Näin vesi haihtuu paremmin. Oulun meijerin jogurtista erottui heraa ~50% vähemmän, kun jogurttimaidon haihdutuksen syöttövirtausnopeus (keskiarvo) (l/h) oli säädetty hieman nopeammaksi.

Lisäksi haihdutuksen jatkuvan virtausnopeuden (maksimi ja keskiarvo) nousu vähensi jogurtista erottuvan heran määrää. Haihdutuksen jatkuva virtausnopeus vaikuttaa kuiva-ainepitoisuuden lisäksi jogurttimaidon proteiinipitoisuuteen. Jatkuva virtausnopeus (l/h) (keskiarvo) vaihteli erittäin merkitsevästi, mikä aiheutti jogurttimaidon proteiini- ja kuiva-ainepitoisuuden vaihtelua, mikä taas aiheutti heramäärän vaihtelua. Oulun meijerin haihdutusprosessi perustui siihen, että raakamaidon proteiinipitoisuus on alhaisimmillaan kesäkuukausina jolloin Oulun meijerin jogurtin valmistuksen haihdutuksen jatkuvaa virtausnopeutta suurennettiin niin että vettä haihtuisi enemmän. Virtausnopeutta pienennettiin syksyä kohti, jolloin raakamaidon proteiinipitoisuus on korkeampi, eikä vettä tarvitse haihduttaa yhtä paljon. Haihdutuksen proteiinipitoisuuden tavoite-arvo ei toteutunut kun jatkuva virtausnopeus (keskiarvo, l/h) oli minimissään. Kuiva-ainepitoisuuden tavoitearvo näytti toteutuvan. Tutkimuksen mukaan jogurttimaidon kuiva-ainepitoisuuden säätäminen onnistuu paremmin kuin proteiinipitoisuuden säätäminen.

Heramäärää lisäsi konsentraatin haihdutuksen ulostulovirtausnopeuden (keskiarvo, l/h) kasvaminen. Konsentraatin ulostulovirtausnopeus pitäisi säätää mahdollisimman hitaaksi. Ilmeisesti muodostunut konsentraatti ja sitä kautta jogurtin geeli oli epästabiili koska heraa erottui jogurtista runsaasti. Kun virtausnopeus oli alhaisempi, heraa erottui >50% enemmän.

Kaiken kaikkiaan Özerin (2010) mukaan onnistunut jogurttimaidon haihdutus parantaa jogurtin geeliä ja heran erottuminen varastoinnin aikana on vähäisempää.

Oulun meijerin jogurtin heran erottuminen ja homogenointivaiheen paine korreloivat merkittävästi. Homogenoinnin on tarkoitus muodostaa maitoon yhtenäinen emulsio kun rasvapalloset pienenevät. Näin jogurtin rakenteesta muodostuu tiiviimpi, jolloin jogurtin vedenpidätyskyky kasvaa (Lee ja Lucey 2010). Oulun meijerin jogurtin heramäärää nosti homogenointipaineen (minimi, keskihajonta, keskiarvo) vaihtelu, mikä saattoi aiheutua prosessin poikkeuksellisista "paineiskuista". Walstran ym. (2006) mukaan vuotavat venttiilit, kulunut homogenointipää tai ilman pääsy homogenointiprosessiin voi aiheuttaa epämääräisiä paineiskuja jolloin ne puolestaan saattoivat aiheuttaa Oulun meijerin jogurtin heramäärään ison vaihtelun. Jogurttimaitoon jäi rasvapallosten törmäyksestä homogenointipäähän rasvapallosia, joilta puuttui ympäröivä proteiinimembraani. Rasva pääsi valumaan palloksen sisältä joten jogurttimassasta jäi puuttumaan kypsytyksen aikana muodostuva yhtenäinen geeli joka olisi estänyt heran erottumista.

Mikäli homogenointilämpötilan maksimi vaihteli 1,75°C, jogurtin heramäärä laski. Homogenointilämpötilan optimitoiminta-alue on tyypillisesti 55–65°C (Lucey ja Singh 1998a; Sodini ym. 2004). Mikäli homogenointilämpötila on liian alhainen saattavat rasvahapot olla kiteisinä (Walstra ym. 2006). Tämän tutkimuksen mukaan Oulun meijerin jogurtin valmistuksen homogenointilämpötilan vaihtelu täytyy estää.

### **5.3 Riihimäen ja Oulun meijereiden välinen tulosten vertailu**

#### Viskositeetti

Tutkimuksen tulosten mukaan Oulun meijerin jogurtin viskositeetti tuoreena (27h) oli selvästi alhaisempi (>60%) kuin Riihimäen meijerin jogurtin. Pääsyy tähän oli se, että Oulun meijerin jogurtin valmistusprosessista puuttui jogurtin rakennetta vahvistava stabilointiaine kun taas Riihimäen meijeri lisäsi tätä kyseistä stabilointiainetta. Sodin ym. (2004) mukaan jogurttimaitoon tehtävä stabilointiaine-lisäys nostaa aina jogurtin viskositeettia, annostuksesta riippuen jopa 70%. Mikäli Oulun meijerin jogurttiin halutaan muodostuvan paksumpi rakenne,

korkeampi viskositeetti, Sodin ym. (2007) tutkimuksen mukaan jogurtti kannattaa valmistaa käyttäen stabilointiainetta.

### Hiutalemäärä

Tutkimuksen tulosten mukaan Oulun meijerin jogurtti sisälsi selvästi enemmän (>70%) hiutaleita verrattuna Riihimäen meijerin jogurttiin. Yksi syy Oulun meijerin jogurtin korkeaan hiutalemäärään oli mahdollisesti se että, Oulun meijerin jogurtti valmistettiin vähälaktoosiseksi (HYLA). Riihimäen meijerin jogurtti oli pidemmälle hydrolysoitunutta, minkä vuoksi Riihimäen ja Oulun meijereiden laktaasi-entsyymien vaikutusajat poikkesivat toisistaan.

Koska Oulun meijerin jogurtin valmistuserät olivat >30% suurempia kuin Riihimäen meijerin jogurtin valmistuserät, laktaasi-entsyymien sekoitus erään oli erittäin tärkeää. Tutkimuksen tulosten mukaan Oulun meijerin jogurtin hiutalemäärä korreloi merkitsevästi laktaasi-entsyymien määrän kanssa. Mahdollisesti Oulun meijerin jogurtin hiutalemäärää nosti laktaasi-entsyymien annostusmenetelmä. Oulun meijerin jogurtin valmistus annosteli laktaasi-entsyymien manuaalisesti jogurtin kypsytyssäiliöön. Riihimäen meijerin jogurtin valmistusprosessi annosteli laktaasi-entsyymien pulssitettuna suoraan jogurttimaitovirtaan, jolloin entsyymi sekoittui jogurttimaitoon tasaisemmin verrattuna Oulun meijerin menetelmään.

Lisäksi Oulun meijerin jogurtti kypsytykseen käytettiin lämmitysvaipallista kypsytyssäiliötä. Epätasainen kypsytyslämpötilan jakautuminen kypsytyssäiliöön aiheutti jogurttimassaan selviä lämpötilaeroja, mikä saattoi nostaa Oulun meijerin jogurtin hiutalemäärää. Hiutaleiden muodostumisesta ei ole kuitenkaan selkeää tutkimustietoa. Todennäköisesti useat eri syyt samanaikaisesti edesauttavat hiutaleiden muodostumista. Toisaalta tiedetään, että hiutaleet ovat maidon proteiineja, erityisesti kaseiineja. Sekoittaminen ja kypsyttäminen saattavat edelleen pitää proteiinit kimppuina tai "vyyhteinä", jolloin ne voidaan erottaa jogurtin rakenteesta hiutaleina (Anonymous 2004).

### Heramäärä

Oulun meijerin jogurtista erottui heraa ~70% enemmän kuin Riihimäen meijerin jogurtista. Oulun ja Riihimäen meijereiden jogurtin valmistusprosessit erotti toisistaan yksi selkeä tekijä; stabilointiaine, jonka tiedetään vähentävän huomattavasti heran erottumista (Tetra Pak 2003; Sodini ym. 2004; Tamime ja Robinson 2007b; Gauchen ym. 2009; Lee ja Lucey 2010; Ercili-Cura 2013). Riihimäen meijeri käytti tätä stabilointiainetta jogurtin valmistukseen menestyksellisesti. Oulun meijerin jogurtti valmistettiin vaihtelevasti ilman stabilointiainelisäystä. Ercili-Curan ym. (2013) tutkimuksen mukaan stabilointiaine-lisäyksen vaikutuksesta jogurttiin muodostuu kypsytyksen aikana geeliverkosto, joka on tiivis ja pienihuokoinen, jolloin jogurtti pidättää heraa paremmin kuin jogurtti ilman stabilointiainelisäystä

Mahdollisesti Oulun meijerin haihdutusprosessin alhaiset virtausnopeudet lisäsivät jogurtista erottuvan heran määrää. Haihdutettava jogurtin raaka-aine on lämpöherkkä, joten haihdutusprosessin pitää olla mahdollisimman lyhyt, että lopputuotteesta saadaan hyvälaatuinen (Tetra Pak 2003). Kun haihdutus onnistuu, loppujen lopuksi jogurtin geelistä tulee kestävämpi ja stabiilimpi, jolloin jogurtin rakenne paranee (Tamime ja Robinson 2007b).

Oulun meijerin jogurtin valmistuksen homogenointipaine oli korkeampi verrattuna Riihimäen meijerin jogurtin valmistuksen homogenointipaineeseen. Tutkimukset toteavat, että homogenointipainetta voi alentaa (100–170bar) mikäli jogurtti valmistetaan käyttäen stabilointiaine-lisäystä (Vasiljevic ja Shah 2008). Homogenoinnin vaikutusta jogurtin rakenteeseen on vaikea verrata, koska Oulun meijerin jogurtti valmistettiin ilman stabilointiaine-lisäystä.

Jogurtin valmistusprosessin lopuksi jogurttimaito kypsytetään jogurttimassaksi hapatebakteereita käyttäen. Jogurttimaidon voimakkaampi pastörointi lyhentää jogurttimassan kypsytyksaika (Soukoulis ym. 2007). Riihimäen meijerin jogurtin valmistusprosessiin kuului kaksi kuumennuskäsittelyä verrattuna Oulun meijerin yhteen kuumennuskäsittelyyn. Näin ollen useampi kuumennuskäsittely oli voinut vaikuttaa Riihimäen meijerin lyhyempään jogurttimassan kypsytyksaikaan verrattuna Oulun meijerin jogurttimassan pidempään kypsytyksaikaan. Mahdollisesti Oulun meijerin jogurttimassan pidempi kypsytyksaika lisäsi heran erottumista.



Kypsymisen jälkeen jogurttimassa siirretään jäähdytykseen siten että jogurttimassa sekoitetaan kun kypsytyssäiliötä tyhjennetään eli massaa siirretään pakkaussäiliöön. Oulun meijerin jogurtin valmistuseräkoot olivat 8–10tn isompia kuin Riihimäen valmistuseräkoot. Mahdollisesti Oulun meijerin pidempään kestänyt jogurttimassan muokkaus/sekoitus heikensi jogurtin geelirakennetta ja edisti heran erottumista. Heran erottuminen jogurtista vähenee, kun jogurttimassan jäähdytys suoritetaan hallitusti ja mahdollisimman nopeasti kypsymisen loputtua (Vasiljevic ja Shah 2008; Özer 2010). Kaseiinimisellit muodostavat hydrofobisia sidoksia ja tiiviitä aggregaatioita, kun loppu pH-arvo (4,6) on saavutettu (Walstra ym. 2006). Lopuksi muodostuneesta jogurttigeelistä voi erottua heraa mikäli kypsynyt massa ei ole jakautunut tiiviisti kypsytyssäiliöön ja sen seinämiin kun massaa sekoitetaan. (Weidendorfer ym. 2008). Myös massan liian pitkä sekoitus aika heikentää jogurtin geelirakennetta. Oulun meijerin korkeampi kypsytyssäiliö verrattuna Riihimäen pienempiin kypsytyssäiliöihin, heikentää jogurtin jäähdytysvaihetta (Chandan ja O'Rell 2006b).

Mikäli jogurttimassa jäähdytetään liian nopeasti muodostunut hyytymä/geeli voi heikentyä. Oulun meijerin jogurtin valmistusprosessin jäähdytyksen virtausnopeus oli alhaisempi kuin Riihimäen meijerin valmistusprosessin. Jogurttimassaan muodostunut hyytymä/geeli pysyy tiiviinä kun massa jäähdytetään ja pakataan mahdollisimman nopeasti kypsymisen jälkeen. Säiliön sekoittajat rikkovat jogurttimassaan muodostuneen hyytymän/geelin samanaikaisesti, kun massaa siirretään kypsytyssäiliöstä eteenpäin jatkokäsittelyihin. Jogurttimassan sekoitusnopeus on syytä pitää mahdollisimman alhaisena että massa säilyy homogeenisena (Özer 2010). Näin jäähdytyslämpö jakautuu tasaisesti jogurttimassaan jäähdytyksen aikana (Jaros ja Rohm 2003).

Kun jogurttimassan pakkaamisen aloitusta odotettiin, jogurttimassaa sekoitettiin tietyin väliajoin pakkaussäiliössä joten jogurttimassa ehti muokkaantua runsaasti. Riihimäen meijerin jogurtin valmistusprosessin pakkaamisen aloituksen liian pitkä odotus vaikutti näin ollen jogurtin rakenteeseen. Mitä pidempi oli pakkaamisen aloituksen odotusaika, sitä alhaisempi oli jogurtin viskositeetti. Weidendorfer ym. (2008) mukaan jogurttimassan tulisi peittää säiliön kypsytyssäiliön seinämät tiiviisti ja tasaisesti. Mahdollisesti Riihimäen meijerin pakkaamisen aloituksen odotusaika heikensi näin ollen jogurttimassan geeliverkostoa jolloin jogurttimassa ei riittänyt peittämään kypsytyssäiliön seinämiä.

Oulun meijerin jogurtin viskositeetti oli selvästi alhaisempi kuin Riihimäen meijerin jogurtin viskositeetti. Sekä Oulun meijerin että Riihimäen meijereiden jogurttien heramäärän mittauspaiikkana toimi Riihimäen meijeri. Vasiljevicin ja Shahin (2008) mukaan jogurtinäytteiden proteiiniverkoston liikkumiseen saattaa vaikuttaa näytteiden kuljetukset ja käsittelyt. Tämän tutkimuksen mukaan niin saattoi tapahtua, että jogurttiin muodostunut hyytymä värähteli ja heilui kuljetuksen aikana kun näytteitä kuljetettiin Oulun ja Riihimäen meijereiden välinen matka (>600 km). Näin ollen hyytymän kestävyys heikkeni ja osittain rikkoontui jolloin jogurtin viskositeetti laski. Tamimen ja Robinsonin (1999) mukaan tämä on nimenomaan pitkien kuljetusten ongelma. Tämän lisäksi näytelaatikoita nostettiin, laskettiin ja siirreltiin Riihimäen meijerin varastosta analysointilaboratorioon. Tämä epätasainen liikuttelu ja mahdolliset lämpötilojen vaihtelut heikensivät Oulun meijerin jogurtin rakennetta ja sai lopulta aikaan jogurtin vedenpidätyskyvyn heikkenemisen ja heran erottumisen.

#### **5.4 Optimaalinen jogurtin valmistusprosessi**

Hyvälaatuinen jogurtti on viskoosi, hiutalemäärä on hyvin alhainen ja jogurtista erottuu heraa hyvin vähän. Jogurtin aistinvarainen arviointi tarkoittaa että jogurtista arvioidaan aistinvaraisia ominaisuuksia (haju/maku, rakenne ja ulkonäkö) pistein 1–5. Kaikista näistä arvioitavista ominaisuuksista jogurtti saa 5 pistettä mikäli jogurtti täyttää kyseiset asetetut arviointikriteerit. Jogurtin haju/maku on raikas ja sopivasti hapan, rakenne on enemmän paksu kuin löysä sekä ulkonäkö on homogeeninen, sileä ja väri valkoinen. Riihimäen ja Oulun meijereihin ehdotetaan seuraavanlainen optimaalinen jogurtin valmistusprosessi; osittain viitaten myös kirjallisuuteen:

Maitotilalta luovutettavan ja jogurtin valmistukseen käytettävän raakamaidon on täytettävä maitotilan raakamaidon spesifisten ominaisuuksien hyväksyttävät laatuvaatimukset (estoaine/antibioottijäämät, haju/ulkonäkö, happoluku, lämpötila, jäätymispisteen alenema, somaattiset solut, bakteerien pesäkemäärä, voihiappobakteeri-itiöt). Meijerin raakamaidon varastointi aika/lämpötila on korkeintaan 24h/6°C. Analysoitu bakteerien pesäkemäärä saa olla korkeintaan 100 000 pmy/ml ja somaattisten solujen määrä 400 000 kpl/ml.

Jogurtin valmistuserä koko on korkeintaan 15 000l. Raakamaito esilämmitetään, että separointi on mahdollisimman tehokasta. Tavoiterasvapitoisuudeksi säädetään 2,5%±0,05. Raakamaidon separointi ja rasvavakiointi tehdään jatkuvatoimisesti samaan aikaan. Tarkkailupiste (TP)

mittaa ja rekisteröi separointivaiheen syöttövirtausnopeuksia (minimi/maksimi) reaaliaikaisesti/on-line. Mikäli syöttövirtausnopeuksien (minimi/maksimi) välinen ero on liian iso, venttiilin parametrit määritetään uudelleen. Codex standardin (2011) mukaan valmistusprosessin aikana jogurtin proteiinipitoisuus pitää saavuttaa vähintään 2,7% ja kokonaiskuiva-ainepitoisuus 10-20% (Tetra Pak 2003). Haihdutuksen alipaineen (~0,5bar) (Özer 2010) on tarkoitus alentaa jogurtin raaka-aineen kiehumispistettä jolloin haihdutuslämpötila on noin 70°C (Tetra Pak 2003).

Tämän jälkeen jogurttimaitovirtaan lisätään D-vitamiinia suhteutettuna eräkokoon. Sen jälkeen jogurttimaidon homogenointiin käytetään Vasiljevicin ja Shahin (2008) mukaan kaksivaihe-homogenointia (100-170/34bar ja 60-65°C) (TP). Meijerin homogenointilaite sisältää erityisen Micro-Gap® venttiilin, joka tehostaa homogenointipaineen vaikutusta siten, että muodostuneiden rasvapallosten halkaisijat ovat ~50% pienempiä verrattuna tavanomaiseen homogenointiin. Homogenointi on tehokasta vaikka virtausnopeus olisi korkea. Micro-Gap®-homogenointi parantaa näin ollen jogurtin rakenteen stabiilisuutta ja laatua.

Jogurttimaidon korkeapastöroinnin optimaalinen lämpötila/aika yhdistelmä on Tetra Pakin (2003) mukaan 90°C/5min (TP). Kyseinen yhdistelmä denaturoi heraproteiineista 70-80%.) Kypsytyslämpötilaan (42-43°C) jäädyttämisen (Tetra Pak 2003) jälkeen jogurttimaidon maitovirtaan lisätään pulssitettuna laktoosia pilkkovaa laktaasi-entsyymiä. Kun koko jogurttimaitoerä on pumpattu kypsytyssäiliöön (ei-lämmitysvaippaa), lisätään jogurtin rakennetta vahvistava stabilointiaine ja sopiva hapatemäärä (~0,02%) (Vasiljevic ja Shah 2008) ja sekoitetaan 15min. Jogurttia kypsytetään 4-6h (Tetra pak 2003) tai kunnes tavoite pH-arvo 4,6 on saavutettu (Walstra ym. 2006; Tamime ja Robinson 2007a; Lee ja Lucey 2010). Tämän jälkeen jogurttimassan rakenne rikotaan rauhallisesti sekoittaen (Chandan ja O'Rell 2006b). Tämän jälkeen massaa siirretään välittömästi lohkoroottoripumppua käyttäen putkisiivilän ja levyjäähdyttimen läpi pakkaussäiliöön. Jogurttimassan jäähdytyslämpötila on 18-20°C (TP) (Chandan ja O'Rell 2006b) ja virtausnopeus tasainen (TP). Jogurttimassan siirtämiseen jäähdytyksen aikana saa käyttää aikaa korkeintaan 20-30min että jogurtin homogeeninen rakenne säilyisi (Tetra Pak 2003). Jäähdytysnopeus on kriittinen. Mikäli jäähdytys tapahtuu liian nopeasti, jogurtista voi erottua heraa varastoinnin aikana (Özer 2010). Jäähdyttämisen tarkoituksena on pysäyttää jogurtin kypsyminen.

Tutkimuksesta saatuihin tuloksiin perustuva ehdotus Riihimäen ja Oulun meijereihin jogurtin valmistusta ohjaaviksi alustaviksi rakenneominaisuuksien spesifikaatorajoiksi on ilmoitettu taulukossa 16. Jogurttimassan kypsytyksen loppu pH-arvo on 4,58–4,6. Loppu pH-arvon pitää pysyä suhteellisen vakaana, koska pH-arvo vaikuttaa erityisesti jogurtin aistinvaraisiin (haju/maku) ja rakenneominaisuuksiin (esim. hiutaleisuus) (Chandan ja O'Rell 2006b). Jogurtin viskositeetti (27h) on 80–250mPas, sen takia että jogurtin viskositeetti on sopiva eli jogurtin rakenne on suhteellisen paksu. Hiutalemäärä on 0–50 kpl/g. Heramäärän tavoite alue on 0-50ml/kg, koska pitkien kuljetusten aikana jogurttigeeli heikkenee.

**Taulukko 16.** Ehdotus jogurtin valmistusta ohjaaviksi spesifikaatorajoiksi Riihimäen ja Oulun meijereihin.

<b>SPESIFIKAATORAJAT</b>	<b>LSL (alempi)</b>	<b>USL (ylempi)</b>
Loppu pH-arvo	4,58	4,6
Viskositeetti 27h (mPas)	80	250
Hiutalemäärä (kpl/g)	0	50
Heramäärä (ml/kg)	0	50

## 6 PÄÄTELMÄT

Tämän tutkimuksen päähuomio oli, että Oulun meijerin jogurtin laatu poikkesi merkitsevästi Riihimäen meijerin jogurtista. Oulun meijerin jogurtin viskositeetti oli erittäin alhainen, runsaan heramäärän vuoksi. Tärkein syy Oulun meijerin jogurtin poikkeavaan laatuun oli stabilointiaineen puuttuminen jogurtin valmistusprosessista. Oulun meijerin jogurtti on nyt päätetty valmistaa käyttäen stabilointiainetta.

Kun tutkimus aloitettiin Riihimäen meijerin jogurtin valmistuksen separoinnin vaihtelevat syöttövirtausnopeudet (minimi/maksimi) vaikuttivat jogurttimaidon vakiointiin. Seurauksena jogurtin viskositeetti oli alhainen. Kun separoinnin syöttövirtausnopeuksien säätöventtiilin parametrit määriteltiin uudelleen, syöttövirtausnopeuksien (minimi ja maksimi) erotus pysyi tasaisena ja jogurtin viskositeetti oli korkeampi eli jogurtti oli paksumpaa sekä heraa erottui jogurtista vähemmän.

Riihimäen meijerin jogurtin laatuvaihteluun vaikuttivat merkitsevästi jogurttimaidon rasva- ja proteiinipitoisuuden (%) vaihtelu asetetusta tavoitteesta. Prosessitekijöistä jäähtäytymisen virtausnopeuden epätasaisuus nosti jogurtin hiutalemäärää. Tärkein tekijä oli kuitenkin pakkaamisen aloituksen useamman tunnin odotus (PAO), mikä alensi jogurtin viskositeettia.

Näiden tekijöiden hallinta on kuitenkin mahdollista kun jogurtin valmistusta tarkkaillaan ja valvotaan valmistuksen aikana. Riihimäen meijerin jogurttimaidon haihdutusmenetelmä on kaiken kaikkiaan liian monivaiheinen ja sitä kannattaa yksinkertaistaa. Lisäksi tutkimuksen erittäin mielenkiintoinen tulos liittyi Riihimäen meijerin jogurtin proteiinivakiointiin. Proteiinipitoisuutta voidaan alentaa kun stabilointiaineen annostusta lisätään. Tämä muutos mahdollistaa säästöjä raaka-ainekustannuksiin.

Oulun jogurtin laadun vaihteluun vaikuttivat jogurttimaidon koostumuksen pitoisuuksien-, haihdutuksen virtausnopeuksien ja homogenoitipaineen vaihtelut. Haihdutuksen virtausnopeuksien epätasaisuus lisäsi huomattavasti jogurtista erottuvan heran määrää kuten sitä lisäsivät myös homogenoitilämpötila ja -paine.

Tämän tutkimuksen tulosten mukaan Riihimäen ja Oulun mejjereihin voidaan ehdottaa uutta yhtenäistä jogurtin valmistusprosessia. Kun valitut prosessivaiheet ja parametrit yhtenäistetään on mahdollista valmistaa hyvä- ja tasalaatuista jogurttia. Tuotanto mittaa ja seuraa jogurtin laatua valmistuserittäin sekä käyttäen määritettyjä spesifikaatiorajoja. Seurantaa on kuitenkin ensin tehtävä jokaisesta jogurtin valmistuserästä vähintään puolen vuoden ajan, minkä jälkeen tarkistetaan spesifikaatiorajojen oikeellisuus. Spesifikaatiorajoja käyttäen on mahdollista seurata myös jogurtin valmistusprosessin kyvykkyyttä ja tuotannon tehokkuutta.

Oulun meijerin valmistusprosessin jatkotutkimukset kannattaa tehdä haihdutuksen virtausnopeuksista (in) ja homogenoinnin lämpötilan sekä paineen vaihteluista. Sekä Riihimäen että Oulun mejjereiden on syytä asettaa tarkkailuun homogenoinnin virtausnopeus eli prosessiin on lisättävä erityinen tarkkailupiste (TP) ja lisäksi Riihimäen meijerin on lisättävä myös homogenoitilämpötilan tarkkailupiste (TP). Kannattaa myös tutkia että pitäisikö Oulun meijerin luopua jogurttimassan kypsytyssäiliön vaippalämmityksestä. Sekä Riihimäen että Oulun mejjereiden kannattaisi hankkia jogurttimassan jäähdytyssiirtovaiheeseen erityinen Ytron-Z® eli massan muokkaus-/homogenointilaite. Ehdotetaan, että Oulun mejjeriin kehitetään järjestelmä laktaasi-entsyymin lisäämiseksi pulssitettuna maitovirtaan. Lisäksi ehdotetaan että sekä Riihimäen että Oulun mejjereiden jogurtit valmistetaan laktoosittomiksi. Näin toimien saadaan Riihimäen ja Oulun mejjereiden jogurtin valmistusprosessit tältä osin samankaltaisiksi.

## 7 LÄHDELUETTELO

- Anema SG, Li Y. 2003. Association of denatured whey proteins with casein micelles in heated reconstituted skim milk and its effect on casein micelle size. *J Dairy R* 70:73-83.
- Anonymous. 2004. Culturally Speaking with Bob Roberts: What Causes Grainy Yogurt. *ProQuest* 105(9):46.
- Beal C, Skokanova J, Latrille E, Martin N, Corrieu G. 1999. Combined Effects of Culture Conditions and Storage Time on Acidification and Viscosity of Stirred Yogurt. *J Dairy Sci* 82:673-81.
- Bhullar YS, Uddin MA, Shah MP. 2002. Effects of ingredients supplementation on textural characteristics and microstructure of yogurt. *Milchwissenschaft* 57:329-32.
- Bottazzi V, Morelli L. 2006. Yogurt & probiotic fermented milks. Mofin Alce group. 251 s.
- Bourne, Malcolm C. 2002. Food texture and Viscosity - Concept and Measurement .s 415. [e kirja].
- Braun DB, Rosen MR. 2000. Rheology of modifiers handbook. Practical use and application. William Andrew Publishing: Knovel corporation 2012. 489 s. [e kirja].
- Broadbent JR. Genetics of Lactic Acid Bacteria. 2001. Teoksessa: Marth EH, Steele JL *Applied Dairy Microbiology*. 2.p. Marcel Dekker USA. s 249-299.
- Cataldi TR, Angelotti M, Bufo SA. 1999. Method Development for the Quantitative Determination of Lactulose in Heat-Treated Milks by HPAEC with Pulsed Amperometric Detection. *Anal Chem* (71):4919-25.
- Chandan RC. 2006. Milk composition, Physical and Processing characteristics. Teoksessa: Chandan RC, White CH, Kilara A, Hui YH. *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks*. Blackwell Publishing Ltd, UK. s 17-39.
- Chandan RC, O'Rell KR. 2006a. Principles of Yogurt Processing. Teoksessa: Chandan RC, White CH, Kilara A, Hui YH. *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks*. Blackwell Publishing Ltd, UK. s 195-209.
- Chandan RC, O'Rell KR. 2006b. Manufacture of Various Types of Yogurt. Teoksessa: Chandan RC, White CH, Kilara A, Hui YH. *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks*. Blackwell Publishing Ltd, UK. s 211-236.
- Chandan RC, Patel DA, Almeida RA, Oliver SP. 2008. Mammary Gland and Milk Biosynthesis: Nature's Virtual Bioprocessing Factory. Teoksessa; Chandan RC, Kilara A, Shah NP. toim. *Dairy Processing & Quality Assurance*. Wiley-Blackwell. s 59-75.
- Ciron CI, Gee VL, Kelly AL, Auty MA. 2010. Comparison of the effects of high-pressure microfluidization and conventional homogenization of milk on particle size, water retention and texture of non-fat and low-fat yoghurts. *J Dairy J* 20:314-20.
- Codex Alimentarius. 2013. Codex Standard for yoghurt (yogurt) and sweetened yoghurt. Codex Stan A-11(a)-1975.
- Codex Alimentarius. 2011. Milk and Milk Products. Codex Standard for fermented milks. Codex Stan 243-2003. Saatavilla: <http://www.fao.org> [Luettu 27.6.2013].
- Dalgleish DG. 2011. On the structural models of bovine casein micelles—review and possible improvements. *Soft Matter* 7:2265-72.
- Dalgleish DG, Corredig M. 2012. A Review. The Structure of the Casein micelle of Milk and Its Changes During Processing. *Annu Rev Food Sci Technol* 3:449-67.

- Dalgleish DG, Spagnuolo PA, Goff HD. 2004. A possible structure of the casein micelle based on high-resolution field-emission scanning electron microscopy. *J Dairy J* 14:1025-31.
- Elintarvikelaki. Säädos 23/2006. Saatavilla: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20060023> [luettu 15.7 2013].
- Ercili-Cura D, Lille M, Legland D, Gaucel S, Poutanen K, Partanen R, Lantto R. 2013. Structural mechanisms leading to improved water retention in acid milk gels by use of transglutaminase. *Food Hyd* 30:419-27.
- EY No.853/2004. Saatavilla: <http://new.eur-lex.europa.eu>. [luettu 28.12.2013]
- Faba. Hollola. 2011. Saatavilla: <http://www.faba.fi/jalostus/lypsykarja/rodut>. [Luettu 25.6.2013].
- Finlex. 2011. Maa- ja metsätalousministeriön asetus elintarvikkeiden alkutuotannon elintarvikehygieniasta. 1368/2011.
- Fox PF, Kelly AL. 2006. Indigenous enzymes in milk: Overview and historical aspects–Part 1. *J Dairy J* 16:500-16.
- Gastaldi E, Lagaude A, Marchesseau S, Tarodo de la Fuente B. 1997. Acid Milk Gel Formation as Affected by Total solids Content. *J Food Sci* 62(4):671-87.
- Gauche C, Tomazi T, Barreto PL, Ogliari PJ, Bordignon-Luiz MT. 2009. Physical properties of yoghurt manufactured with milk whey and transglutaminase. *LWT* 42:239-243.
- Gunasekaran S, Solar O. 2012. Heat-Induced Casein–Whey Protein Interactions. Teoksessa: Navram S, Hettiarachy, Kenji, Maurice R, Marshall, Arvind K. *Food Proteins and Peptides Chemistry, Functionality, Interactions and Commercialization*. CRC Press s 199-228.
- Gürakan GC, Altay N. 2010. Yogurt Microbiology and Biochemistry. Teoksessa: Yildiz F. toim. *Development and Manufacture of Yogurt and Other functional Dairy Products*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. s 97-121.
- Heck JM, van Valenberg HJ, Dijkstra J, van Hooijdonk AC. 2009. Seasonal variation in the Dutch bovine raw milk composition. *J Dairy Sci* 92:4745-55.
- Jaros D, Heidig C, Rohm H. 2007. ENZYMATIC MODIFICATION THROUGH MICROBIAL TRANSGLUTAMINASE ENHANCES THE VISCOSITY OF STIRRED YOGURT. *J Tex Stu* (38) 179-89.
- Jaros D, Rohm H. 2003. The rheology and textural properties of yoghurt. Teoksessa: McKenna BM. toim. *Texture in food, Volume 1: semi-solid foods*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. s 321-349.
- Kailasapathy K. 2008. Chemical composition, Physical and Functional Properties of Milk and Milk Ingredients. Teoksessa: Chandan RC, Kilara A, Shah NP. *Dairy Processing & Quality Assurance*. Wiley-Blackwell. s 75-103.
- Karjalainen T. 2012. Tilastotekniikan perusteet käyttäen MINITAB:ia. *Quality Knowhow Karjalainen Oy Lahti*. s 94.
- Keogh MK, O’Kennedy BT. 1998. Rheology of Stirred Yogurt as Affected by Added Milk Fat, Protein and Hydrocolloids. *J Food Sci* 63:108-12.
- Kilara A. 2006. Basic Dairy Processing Principles. Teoksessa: Chandan RC, White CH, Kilara A, Hui YH. *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks*. Blackwell Publishing Ltd, UK. s 73 – 87.

Kücükçetin A. 2008. Effect of heat treatment of skim milk and final fermentation pH on graininess and roughness of stirred yogurt. *J Dairy Sci* 61(4):385-90.

Lappalainen V. 2008. Bakteereilla hapatetun maitoproteiiniin ominaisuuksiin vaikuttavat tekijät. [pro-gradu - tutkielma]. EKT-sarja 1426. Helsinki: Helsingin yliopisto, Elintarviketeknologian laitos. 84 s.

Lapveteläinen A, Appelby U. 2008. Aistinvarainen laaduntarkkailu. Teoksessa: Tuorila H, Appelby U. toim. Elintarvikkeiden aistinvaraiset tutkimusmenetelmät. 2. p. Helsinki. Yliopistopaino. s 119-137.

Lee WJ, Lucey JA. 2004. Structure and Physical Properties of Yogurt Gels: Effect of Inoculation Rate and Incubation Temperature. *J Dairy Sci* 87:3153-64.

Lee WJ, Lucey JA. 2010. Formation and Physical properties of Yogurt. *Asian-Aust J Anim Sci* 23(9):1127-36.

Lucey JA. 2004. Cultured dairy products: an overview of their gelation and texture properties. *J Dairy Sci* 57 (2/3):77-84.

Lucey JA, Singh H. 1998a. Formation of physical properties of acid milk gels: a review. *Food Res Int* 30(7):529-42.

Lucey JA, Tamehana M, Singh H, Munro PA. 1998b. A comparison of the formation, rheological properties and microstructure of acid skim milk gels made with a bacterial culture or glucono-delta-lactone. *Food Res Int* 31:147-155.

Maitohygienialiitto ry. Helsinki. Saatavilla: <http://www.maitohygienialiitto.fi/tilastot/laatuhinnoitteluluokitus/36-maidon-jakaantuminen-luokkiin>. [luettu 25.6 2013].

Maito ja Terveys ry. 2007. Maitotietoa. Teoksessa: Urho UM. 13. p. Maito ja Terveys ry. 36 s.

McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JF, Morgan CA, Sinclair LA, Wilkinson RG. 2011. 7. p. Pearson Education Limited, England. 692 s.

Nakhla M. 1995. Production control in the food processing industry The need for flexibility in operations scheduling. *Int J Operations & Production Management* 8:73-88.

O'Donnel HJ, Butler F. 2002. Time-dependent viscosity of stirred yogurt. Part I: couette flow. *J Food Eng* 51:249-54.

Park YK, Koo HC, Kim SH, Hwang SY, Jung WK, Kim JM, Shin S, Kim RT, Park YH. 2007. The Analysis of Milk Components and Pathogenic Bacteria Isolated from Bovine Raw Milk in Korea. *J Dairy Sci* 90:5405-14.

Penna AL, Converti A, Nogueira de Oliveira M. 2006. Simultaneous Effects of Total Solids Content, Milk Base, Heat Treatment Temperature and Sample Temperature on the Rheological Properties of Plain Stirred Yogurt. *Food Technol Biotechnol* 44(4):515-8.

Ramirez-Santiago C, Ramos-Solis I, Lobato-Calleros L, , Pena-Valdivia C, Alvarez-Ramirez J. 2010. Enrichment of stirred yogurt with soluble dietary fiber from *Pachyrhizus erosus* L. Urban: Effects on syneresis, microstructure and rheological properties. *J Food Eng* 101:229-35.

Rao MA. 1999. Measurement of Flow and Viscoelastic Properties. Teoksessa: Rao MA toim. *Rheology of Fluid and Semisolid foods - Principles and Applications*. Department of Food Science and Technology, New York: An Aspen Publication. s 59-148.

Rao MA. 2005. Rheological properties of fluid foods. Teoksessa: Rao MA, Datta AK, Rizvi SH. *Engineering properties of foods*. CRC Press. [e kirja].



Remeuf F, Mohammed S, Sodini I, Tissier JP. 2003. Preliminary observations on the effects of milk fortification and heating on microstructure and physical properties of stirred yogurt. *J Dairy Sci* 13:773-82.

Renan M, Guyomarc'h F, Arnoult-Delest V, Pâquet D, Brulé, Famelart MH. 2009. Rheological properties of stirred yoghurt as affected by gel pH on stirring, storage temperature and pH changes after stirring. *J Dairy Sci* 19:142-8.

Roach A, Harte F. 2008. Disruption and sedimentation of casein micelles and casein micelle isolates under high-pressure homogenization. *J Food Sci* 9:1-8.

Roberts I. 2003. In-line and on-line rheology measurement of food. Teoksessa: McKenna BM. *Texture on food; Volume 1: Semi-solids foods*. Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC, Boca Raton USA. s 161-182.

Roininen K, Heiniö RL, Vehkalahti K. 2008. Kuvailtavat menetelmät. Teoksessa: Tuorila H, Appelby U. toim. *Elintarvikkeiden aistinvaraiset tutkimusmenetelmät*. 2. p. Helsinki. Yliopistopaino. s 93-105.

Shaker RR, Jumah RY, Abu-Jdayil B. 2000. Rheological properties of plain yogurt during coagulation process: impact of fat content and preheat treatment of milk. *J Food Eng* 44:175-80.

Sodini I, Remeuf F, Haddad S, Corrieu G. 2004. The Relative Effect of Milk Base, Starter, and Process on Yogurt Texture: A Review. *Crit Rev Food Sci Nutr* 44:113-37.

Sodini I, Tong PS. 2006. Milk and Milk-Based Dairy Ingredients. Teoksessa: Chandan RC, White CH, Kilara A, Hui YH. *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks*. Blackwell Publishing Ltd, UK. s 167-193.

Soukoulis C, Panagiotidis P, Koureli R, Tzia C. 2007. Industrial Yogurt Manufacture: Monitoring of Fermentation Process and Improvement of Final product Quality. *J Dairy Sci* 90:2641-54.

Tamime AY, Robinson RK. 1999. *Yoghurt Science and technology*. 2. p. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. 619 s.

Tamime AY, Robinson RK. 2007a. *Yoghurt Science and technology*. 7. p. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. 789 s.

Tamime AY, Robinson RK. 2007b. *Yoghurt Science and technology*. 7. p. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. 755 s [e kirja].

Tetra Pak Processing Systems AB. *Dairy processing handbook*. 2. p. Sweden. s 452.

Tuorila H, Appelby U. 2008. Aistinvarainen tutkimus: tieteenala ja käyttöalueet. Teoksessa: Tuorila H, Appelby U toim. *Elintarvikkeiden aistinvaraiset tutkimusmenetelmät*. 2. p. Helsinki. Yliopistopaino. s 17-31.

Udabage P, Augustin MA, Versteeg C, Puvanenthiran A, Yoo JA, Allen N, McKinnon I, Smiddy M, Kelly AL. Properties of low-fat stirred yoghurts made from high-pressure-processed skim milk. *J Food Sci* 11:32-8.

Valioryhmän laatutiimi. *Maidon laatukäsikirja*. 2012. Edita Prima Oy. s 129.

Vasiljevic T, Shah NP. 2008. Cultured Milk and Yogurt. Teoksessa: Chandan RC, Kilara A, Shah NP. *Dairy Processing & Quality Assurance*. Wiley-Blackwell, USA. s 219-251.

Vedamuthu ER. 2006. Starter Cultures for Yogurt and Fermented Milks. Teoksessa: Chandan RC, White CH, Kilara A, Hui YH *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks*. Blackwell Publishing UK. s 89-115.

Villamiel M, Arias M, Corzo N, Olano A. 1999. Use of different thermal indices to assess quality of pasteurized milks. *Z Lebensm Unters Forsch A* 208:169-71.

Walstra P, Wouters JT, Geurts TJ. 2006. Dairy Science and Technology. 2. p. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. 782 s.

Weidendorfer K, Bienias A, Hinrichs J. 2008. Investigation of the effects of mechanical post-processing with a colloid mill on the texture properties of stirred yogurt. I Dairy J 61(4):379-384.

Yildiz F. 2010. Overview of Yogurt and Other Fermented Dairy Products. Teoksessa: Yildiz F. toim. Development and Manufacture of Yogurt and Other functional Dairy Products. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. s 1-45.

Özer B. 2010. Strategies for Yogurt Manufacturing. Teoksessa: Yildiz F. toim. Development and manufacture of Yogurt and Other functional Dairy Products. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. s 47-96.

Özer B, Kirmaci HA. 2010. Quality Attributes of Yoghurt and Functional Dairy Products. Teoksessa: Yildiz F. toim. Development and manufacture of Yogurt and Other functional Dairy Products. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. s 229-265.

Özrenk E. 2006. A review. The use of transglutaminase in dairy products. I Dairy J 59(1):1-7.

## **8 LIITTEET**

Liite 1. Yksisuuntainen varianssianalyysi

Liite 2. Spesifikaatorajat; Loppu pH-arvo

Liite 3. Spesifikaatorajat; Viskositeetti (mPas)

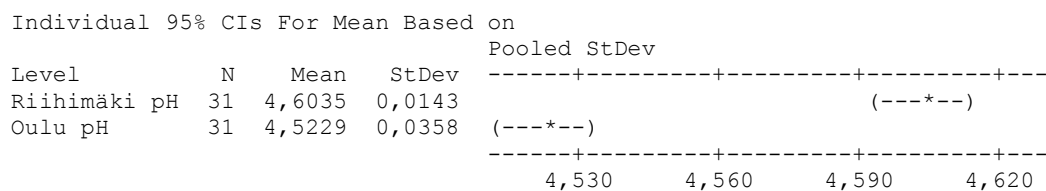
Liite 4. Spesifikaatorajat; Hiutalemäärä (kpl/g)

Liite 5. Spesifikaatorajat; Heramäärä (ml/kg)

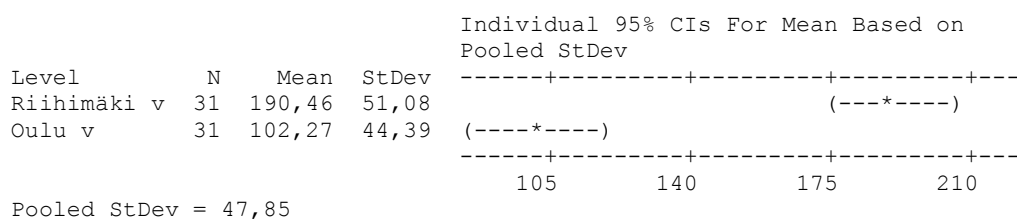
## Liite 1. Yksisuuntainen varianssianalyysi

### One-way ANOVA

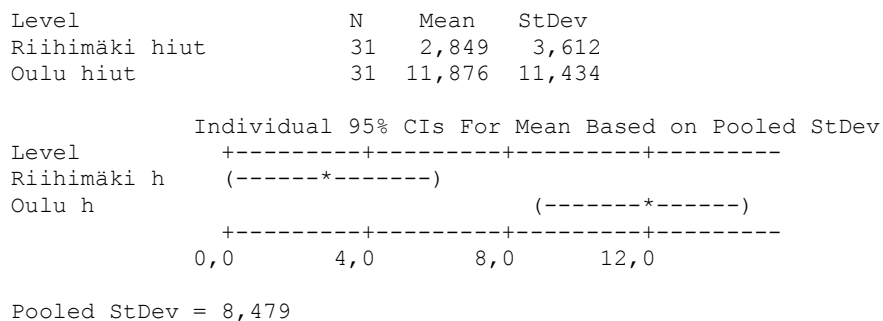
#### Loppu pH-arvo



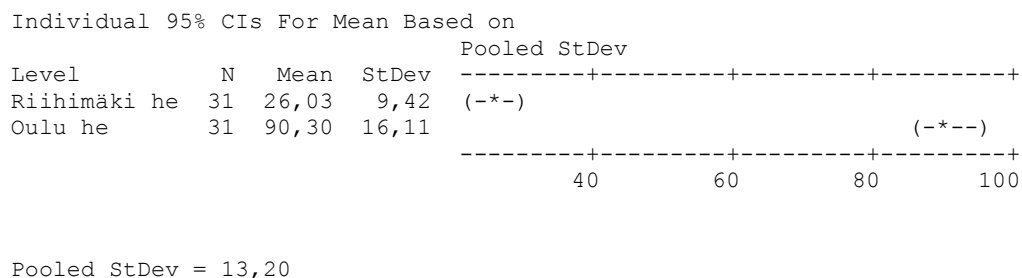
#### Viskositeetti (mPas)



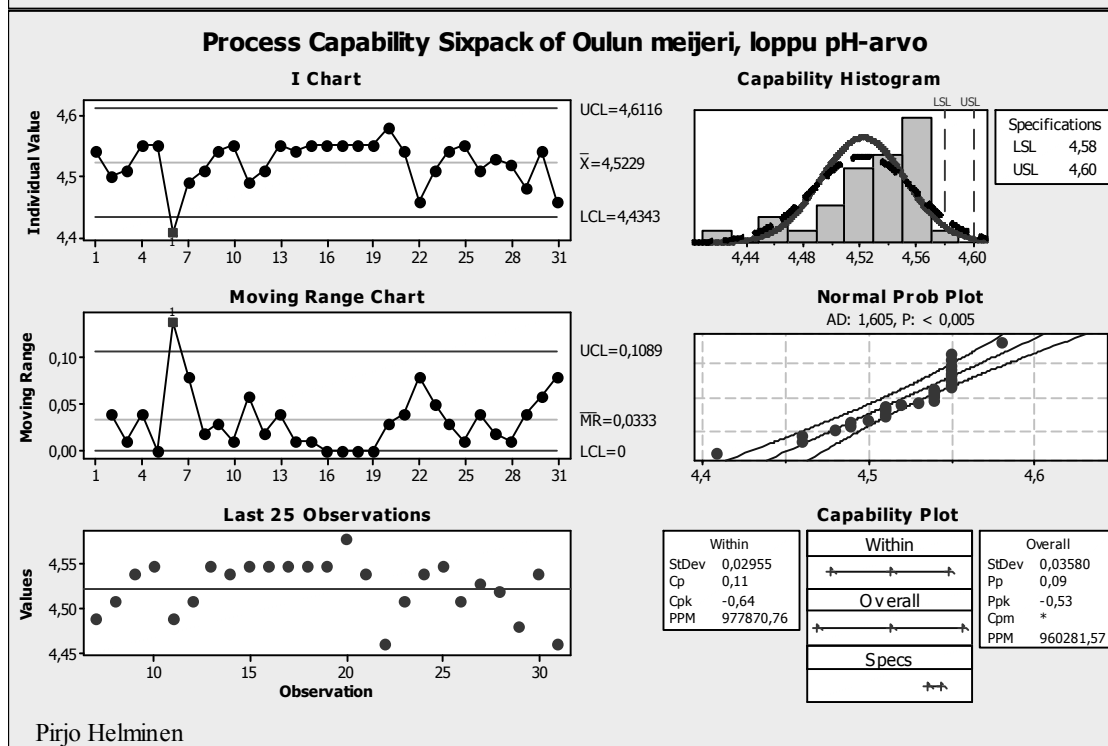
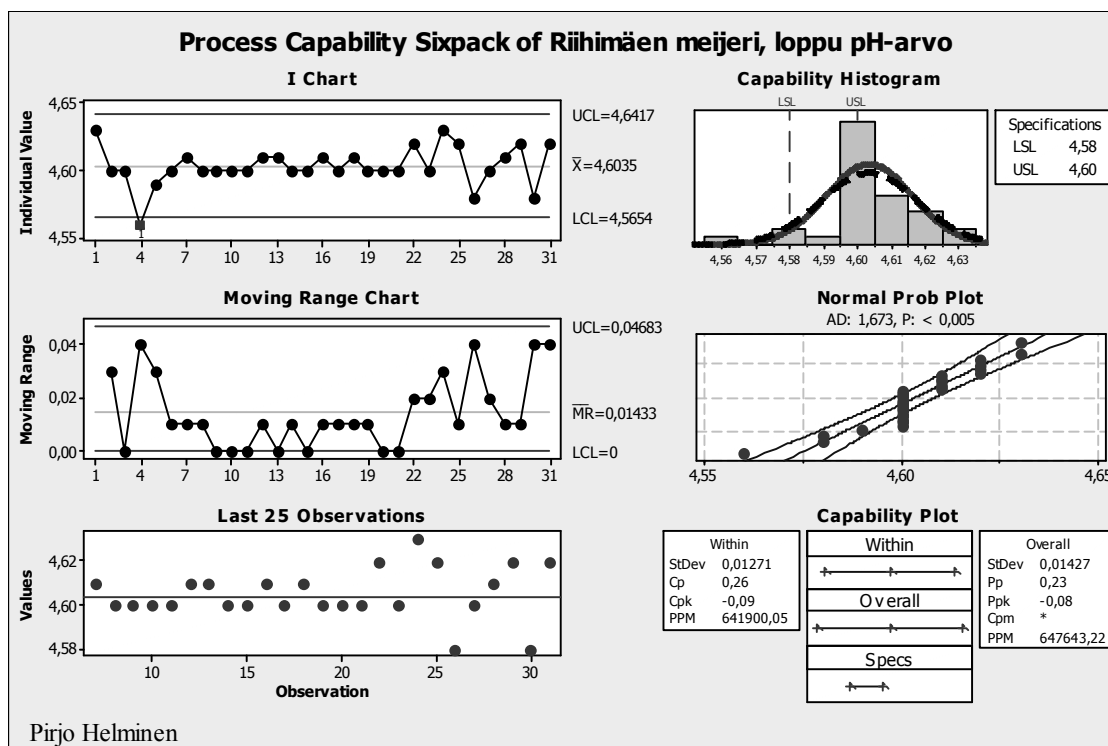
#### Hiutalemäärä (kpl/g)



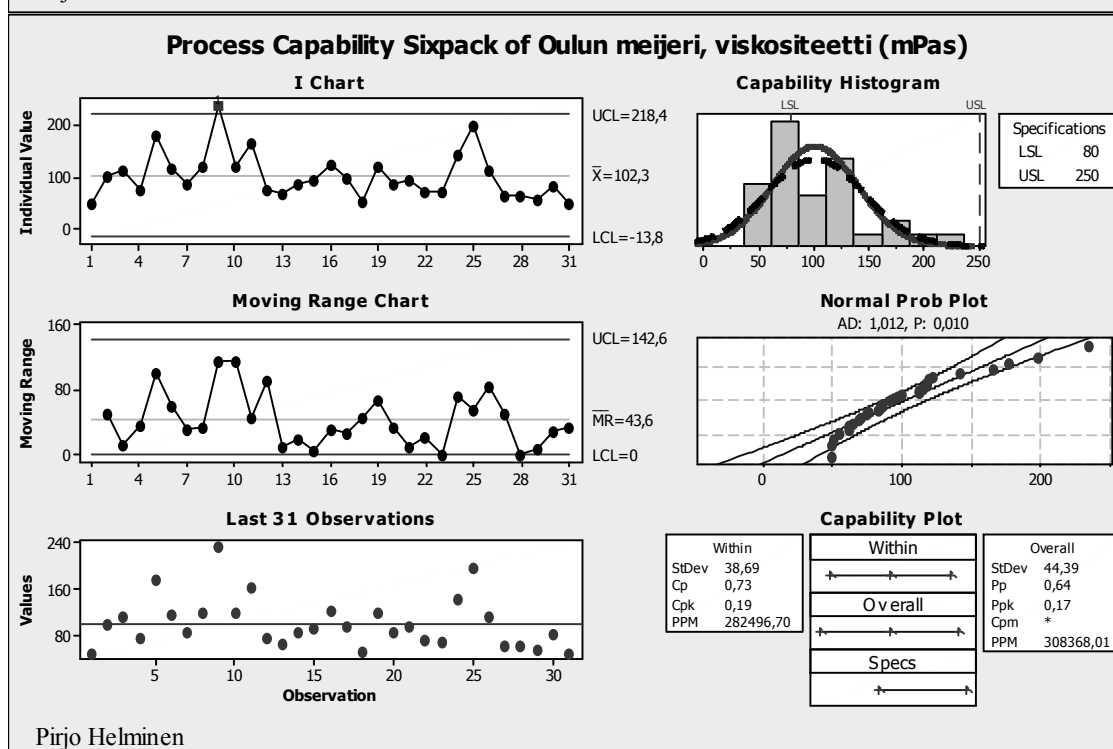
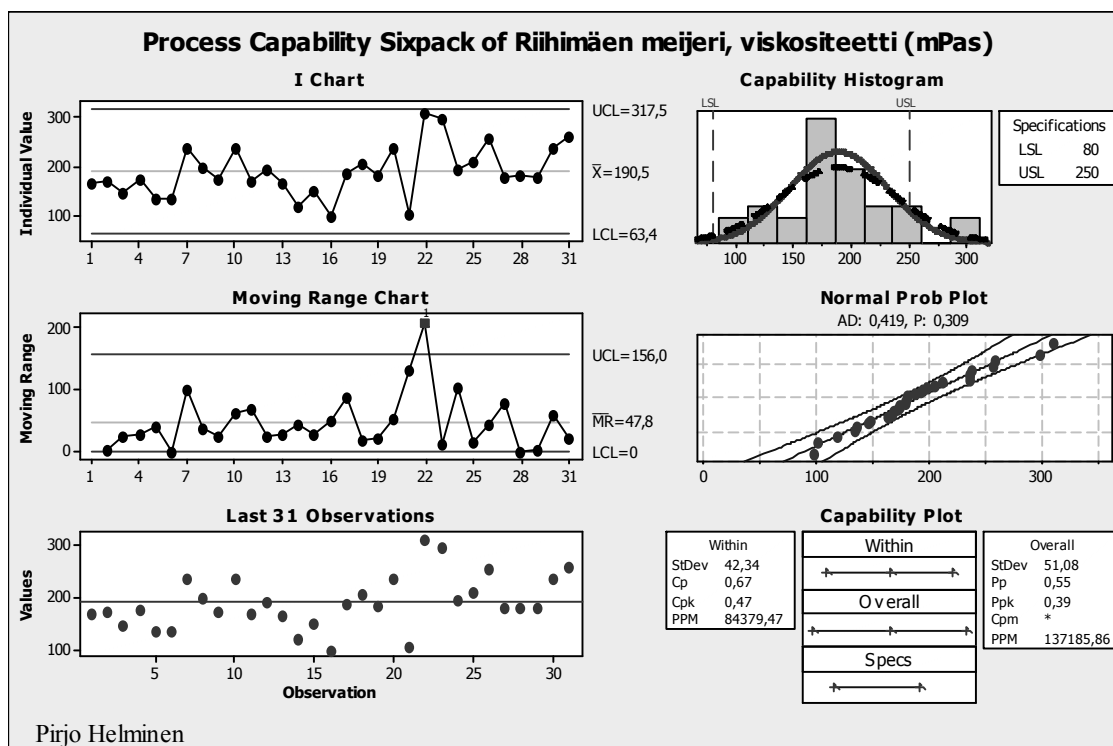
#### Heramäärä (ml/kg)



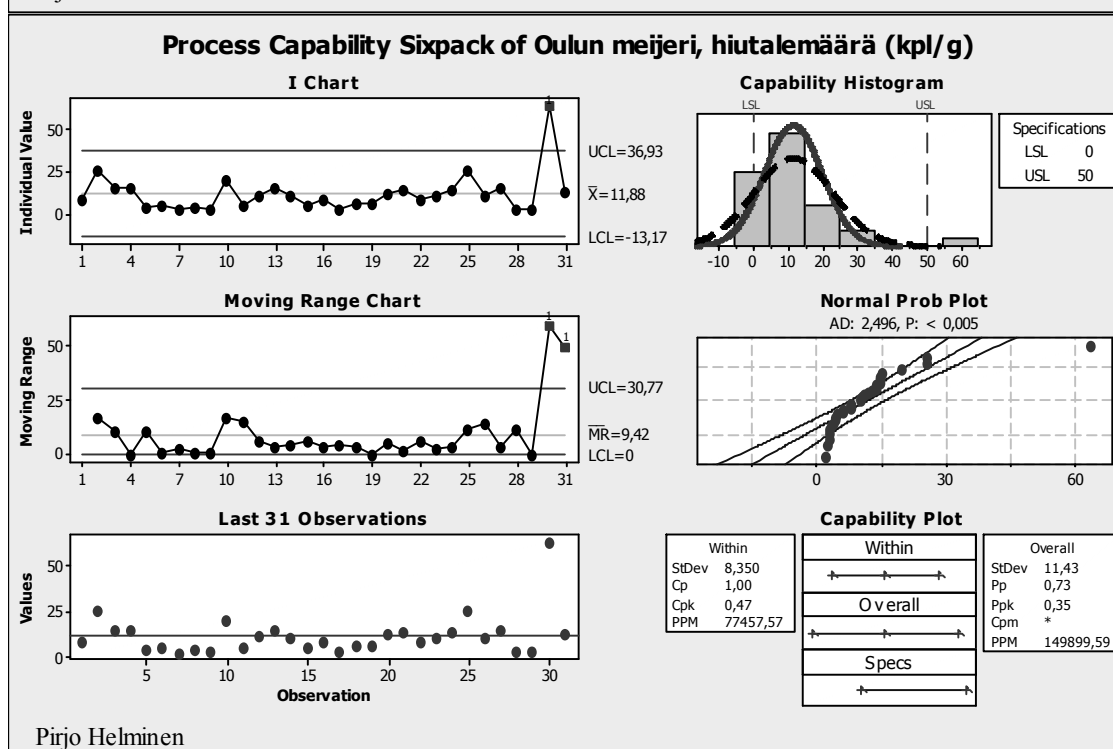
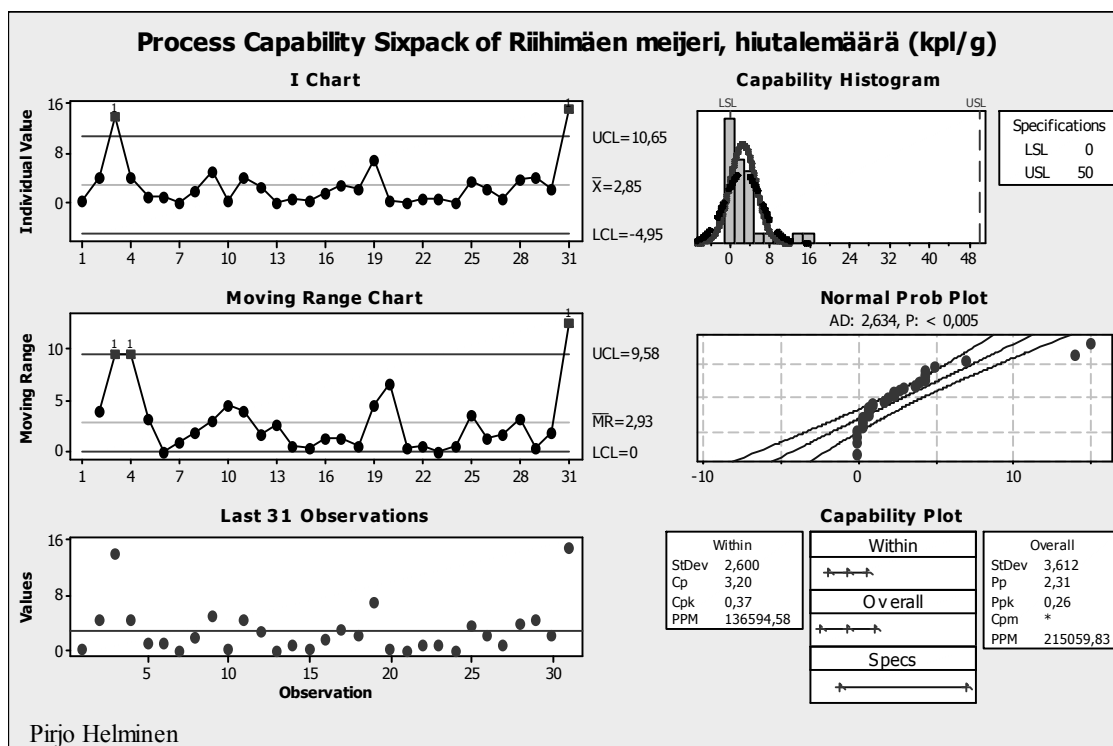
## Liite 2. Spesifikaatorajat; Loppu pH-arvo



### Liite 3. Spesifikaatorajat; Viskositeetti (mPas)



## Liite 4. Spesifikaatorajat; Hiutalemäärä (kpl/g)



## Liite 5. Spesifikaatorajat; Heramäärä (ml/kg)

